tijdschrift van het

nederlands elektronica- en radiogenootschap

deel 56 nr. 2 1991

nederlands elektronica- en radiogenootschap

Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
Postbus 39, 2260 AA Leidschendam. Gironummer 94746
t.n.v. Penningmeester NERG, Leidschendam.

HET GENOOTSCHAP

De vereniging stelt zich ten doel het wetenschappelijk onderzoek op het gebied van de elektronica en de informatietransmissie en -verwerking te bevorderen en de verbreiding en toepassing van de verworven kennis te stimuleren.

Het genootschap is lid van de Convention of National Societies of Electrical Engineers of Western Europe (Eurel).

BESTUUR

LIDMAATSCHAP

Voor lidmaatschap wende men zich tot de secretaris.
Het lidmaatschap staat open voor academisch gegradueerden en hen, wier kennis of ervaring naar het oordeel van het bestuur een vruchtbaar lidmaatschap mogelijk maakt. De contributie bedraagt *f* 60,– per jaar.

Studenten aan universiteiten en hogescholen komen bij gevorderde studie in aanmerking voor een junior-lidmaatschap, waarbij 50% reductie wordt verleend op de contributie. Op aanvraag kan deze reductie ook aan anderen worden verleend.

HET TIJDSCHRIFT

Het tijdschrift verschijnt zesmaal per jaar. Opgenomen worden artikelen op het gebied van de elektronica en van de telecommunicatie.

Auteurs die publicatie van hun wetenschappelijk werk in het tijdschrift wensen, wordt verzocht in een vroeg stadium contact op te nemen met de voorzitter van de redactiecommissie.

De teksten moeten, getypt op door de redactie verstrekte tekstbladen, geheel persklaar voor de offsetdruk worden ingezonden.

De abonnementsprijs van het tijdschrift bedraagt *f* 60,–. Aan leden wordt het tijdschrift kosteloos toegestuurd.

Tarieven en verdere inlichtingen over advertenties worden op aanvrage verstrekt door de voorzitter van de redactiecommissie.

REDACTIECOMMISSIE

ONDERWIJSCOMMISSIE

ENKELE EMC-ASPECTEN VAN DIGITALE SCHAKELINGEN EN COMPONENTEN

Ing. L.P. Janssen

Philips Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, Nederland

Some EMC aspects of digital circuits and devices. The current parameters that can be used in Electro-Magnetic Compatibility (EMC) calculations on the emission of digital circuits are estimated. In particular a comparison is made between the radiated electric fields caused by the *differential-mode* currents in a signal line and the electric fields caused by the *common-mode* currents in the same signal line. Also some new developments in digital Integrated Circuits (ICs) will be discussed.

INLEIDING.

In professionele electronica en de consumentenelektronica worden op grote schaal digitale schakelingen toegepast. Het succes van deze toepassing is mede afhankelijk van het feit of de problemen met Elektro-Magnetische Compatibiliteit (EMC) van de digitale elektronica opgelost kunnen worden. Met name de emissie van velden, die het gevolg is van de grote bandbreedte van de digitale circuits, kan leiden tot EMC-problemen. Door de schaalverkleining in IC-ontwerpen, waardoor de bandbreedte van de circuits verder toeneemt, wordt de emissie alleen maar groter. Bij de beschrijving van de emissie zijn stromen de belangrijke parameters. Daarom zal eerst kort het amplitude-spectrum van de stromen van digitale signalen aan de orde komen. Vervolgens worden de voor EMC relevante spannings- en stroomparameters van enkele logica-families gegeven.

Voor berekeningen aan emissieproblemen zal de verre-veld-benadering van een kleine magnetische dipool gebruikt worden om de gevolgen van 'Differential-Mode'-stromen (DM-stromen) te bepalen. Voor het berekenen van de gevolgen van 'Common-Mode'-stromen (CM-stromen) zal de verre-veld-benadering van de kleine elektrische dipool gebruikt worden. De resultaten van beide berekeningen zullen met elkaar vergeleken worden.

Ook fabrikanten van geïntegreerde schakelingen (IC's) worden zich meer en meer bewust van de EMC-problemen met digitale circuits. Daarom zal ook nog kort ingegaan worden op enkele recente ontwikkelingen op component-niveau in relatie tot emissie van storingen.

STROOMPULS IN TIJD- EN FREQUENTIEDOMEIN.

Om emissieberekeningen te kunnen maken moeten we de *stromen* in digitale schakelingen beschouwen. In de databoeken van digitale circuits, worden alleen de tijdsafhankelijke *spanningsparameters* gespecificeerd. Om toch berekeningen te kunnen maken, zullen we een aanname moeten doen over de vorm van de stroompuls.

In de praktijk is gebleken dat voor emissieberekeningen de trapeziumvormige puls een eenvoudige en goede benadering is. Een voorbeeld van een dergelijke puls is gegeven in Fig.1.

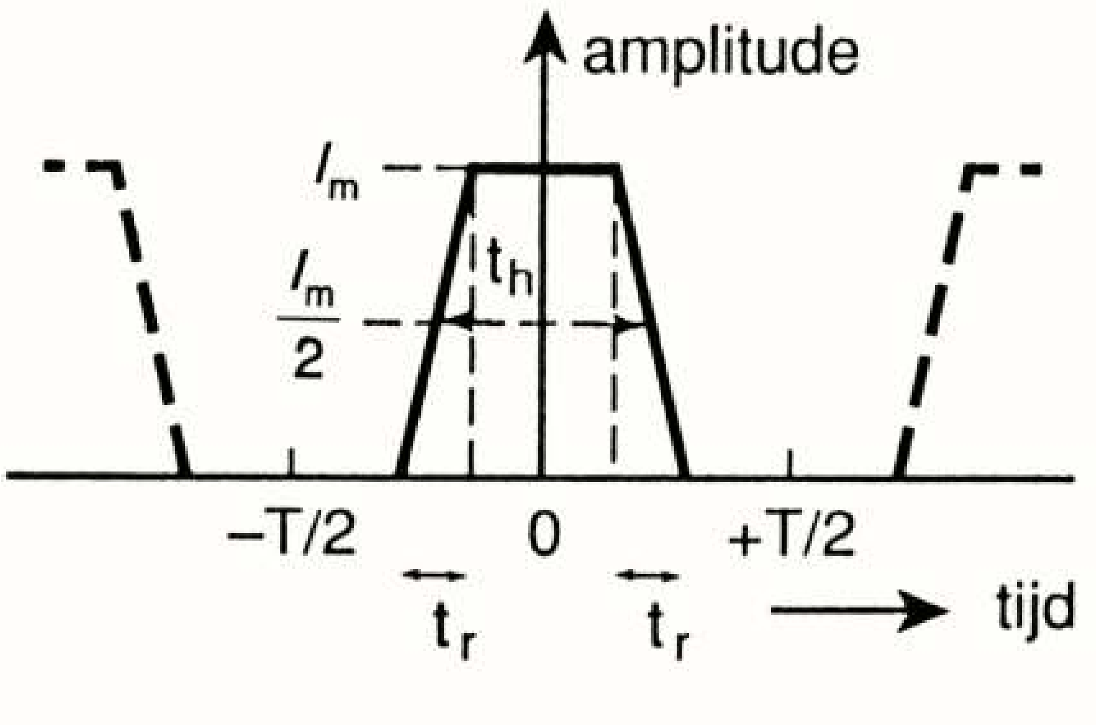


Fig.1 Stroompuls in het tijddomein.

Hier staat de tijd langs de horizontale as en de stroomamplitude langs de verticale as. I_m is de amplitude van de puls, t_h de pulsbreedte en t_r de stijgtijd en afvaltijd van de puls. De herhalingstijd wordt gegeven door T.

Omdat we in de rest van deze beschouwing voornamelijk in het frequentiedomein zullen werken, moeten we de trapeziumpuls omrekenen m.b.v. de Fouriertransformatie. De trapeziumpuls in het frequentiedomein wordt dan (Goedbloed; 1990):

$$f(t) = \frac{I_m t_h}{T} + \frac{2 I_m t_h}{T} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\sin\chi_h}{\chi_h} \frac{\sin\chi_r}{\chi_r} \right) e^{jn\omega t} \qquad (1)$$

Hier is:
- $\chi_h = \pi n f t_h$
- $\chi_r = \pi n f t_r$
- n = harmonisch getal
- f = herhalingsfrequentie = $1 / T$

Grafisch is het frequentiespectrum van de puls weergegeven in Fig.2.

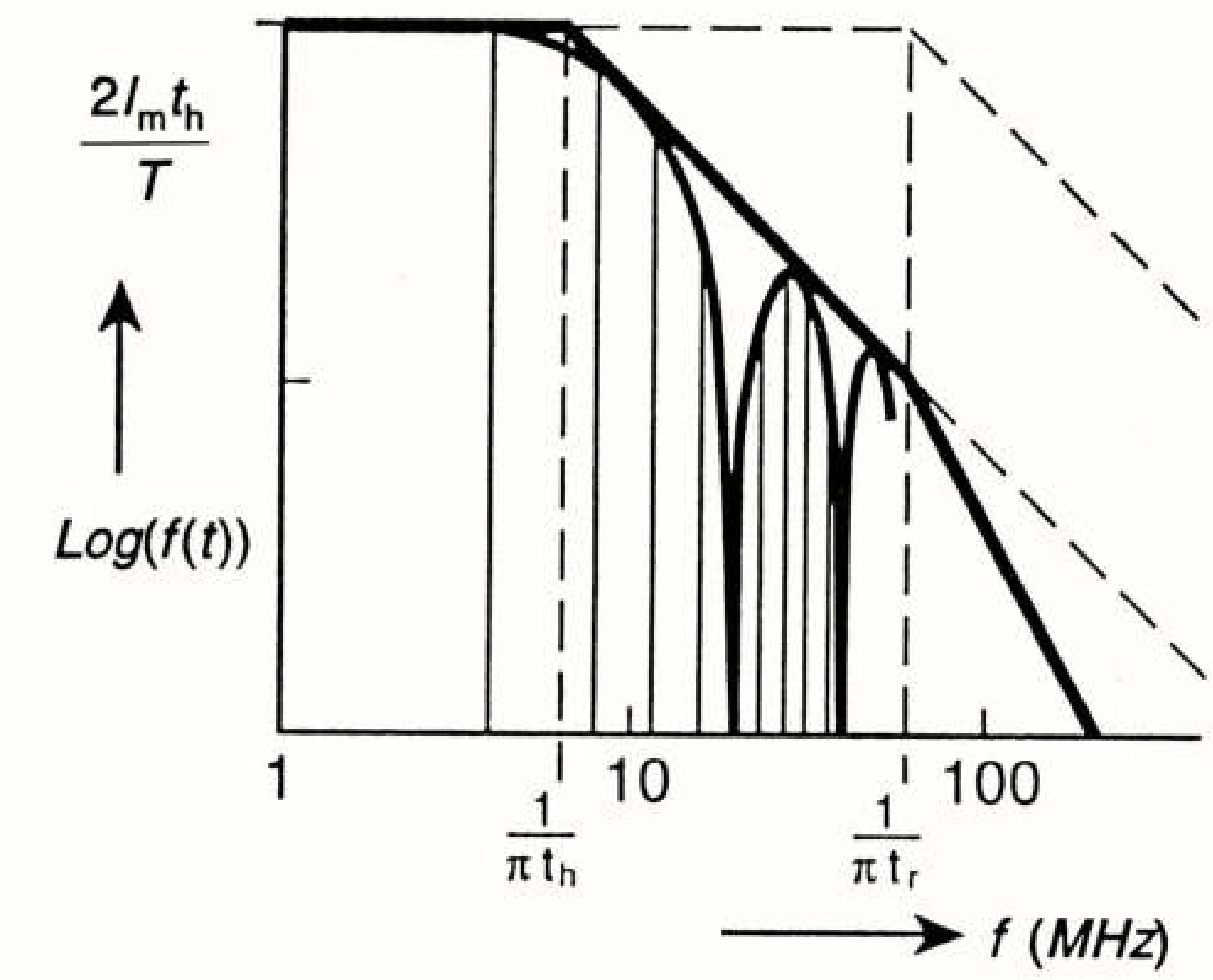


Fig.2 Trapeziumpuls in het frequentiedomein.

Uit deze figuur zien we dat we het spectrum asymptotisch kunnen benaderen met 3 lijnen. Daarom noemt men dit spectrum ook wel het *3-lijnen-spectrum*. We zien dat er twee kantelpunten in het spectrum aan te wijzen zijn. Het eerste wordt bepaald door t_h, dus de breedte van de puls. Het tweede kantelpunt wordt bepaald door t_r, de stijgtijd van de puls.

Aangezien de stroomparameters niet door de fabrikanten in de databoeken worden gespecificeerd, zullen we deze moeten benaderen. Indien er een zuivere weerstandsbelasting is, kan men de stroomparameters met de wet van Ohm direct uit de spanningsparameters berekenen. In de praktijk is de belasting echter meestal capacitief. Dit betekent dat men de *amplitude* van de stroom moet benaderen met:

$$|I| = C \frac{dV}{dt} \approx C \frac{V_{cc}}{t_{r,v}} \qquad (2)$$

Hier is:
- $|I|$ = Stroomamplitude [A]
- C = Capacitieve belasting (ook van de print) [F]
- V_{cc} = Voedingsspanning van het IC [V]
- $t_{r,v}$ = stijgtijd van de spanning [s]

De *stijgtijd* en *pulsbreedte* van de stroom wordt gegeven door de volgende benadering:

$$t_{r,i} = 0{,}5 \cdot t_{r,v} \qquad (3)$$
$$t_{h,i} = t_{r,v}$$

Hier is:
- $t_{r,i}$ = stijgtijd van de stroom [s]
- $t_{h,i}$ = pulsbreedte van de stroom [s]

Zoals reeds vermeld, wordt in de EMC-wereld meestal in het frequentiedomein gewerkt; daarom wordt ook nog een bandbreedte aan de logica-families toegekend. Deze wordt gedefinieerd als:

$$B_i = \frac{1}{\pi\, t_{r,i}} \qquad (4)$$

Met behulp van de bovenstaande gegevens kunnen we nu een tabel opstellen met daarin de voor EMC-doeleinden meest relevante gegevens. Tabel 1 geeft de gegevens voor de meest toegepaste logica-families.

Logica	$t_{r,v}$ [ns] $t_{h,i}$ [ns]	$t_{r,i}$ [ns]	I [mA] C=50pF	B_i [MHz]
CMOS	100	50	2,5	6,4
LS-TTL	6	3	42	106
F-TTL	2,5	1,25	100	255
HCT-MOS	4	2	62,5	159
ACL	2	1	125	318
ABT	1,5	0,75	167	424

Tabel 1. Spannings- en stroomparameters van enkele logica-families.

Uit deze tabel volgt dat met het moderner worden van de logica niet alleen de bandbreedte, maar ook de stroomamplitude toeneemt. In de volgende paragraaf zal aangetoond worden dat dit de emissieproblemen van digitale circuits extra vergroot.

EMISSIE TEN GEVOLGE VAN STROMEN.

In dit deel zullen de uitgestraalde velden van digitale circuits benaderd worden. Hiervoor worden verre-veld-vergelijkingen van de kleine magnetische en elektrische dipool gebruikt. De volledige afleiding van de vergelijkingen zal hier niet gegeven worden. Hiervoor wordt verwezen naar de literatuur (Balanis; 1982).

Bij het schakelen van digitale IC's zullen er stromen gaan lopen in de verbindingscircuits (b.v. Printed-Circuit Boards (PCB's), kabels etc.). Deze stromen, die gesloten lussen vormen, zijn de gewenste signaalstromen en zullen hier 'Differential-Mode'-stromen genoemd worden. Deze DM-stromen in lussen zorgen ervoor dat er onder andere emissie via velden optreedt. Deze emissie wordt meestal uitstraling genoemd. Het uitgestraalde veld van een lus kan goed benaderd worden door de vergelijking van een kleine magnetische dipool te gebruiken. Voorwaarde is dat de diameter van de lus klein is ten opzichte van de golflengte λ van het signaal ($D<\lambda/2\pi$). In het verre veld, waar de afstand van de lus tot de meetantenne groot is ten opzichte van de golflengte λ van het signaal ($r>\lambda/2\pi$), wordt het elektrische veld van een magnetische dipool gegeven door:

$$E = 1{,}3 . 10^{-14} \; \frac{A \; I(f) \; f^2}{r} \qquad (5)$$

Hier is:			
	A	= Oppervlak van de lus (πD^2)	[m^2]
	f	= Frequentie	[Hz]
	$I(f)$	= Stroomamplitude bij frequentie f	[A]
	r	= Afstand tot de antenne	[m]

We kunnen zien dat het E-veld afhankelijk is van het produkt van de stroom en het oppervlak van de lus. Dit noemt men het magnetische dipoolmoment. Tevens is het veld afhankelijk van de frequentie in het kwadraat. Dit geeft aan dat de stroomamplitude en de bandbreedte van digitale componenten belangrijke parameters zijn. Tevens kunnen we concluderen dat we de emissie laag kunnen houden door de lussen klein te houden en een logica-familie te kiezen met een kleine bandbreedte, zodat de stroomamplitude lager is en het emissiespectrum al bij lagere frequenties afvalt.

Doordat er in de transmissielijn tussen twee digitale poorten altijd een bepaalde mate van asymmetrie bestaat, zullen er zogenaamde 'Common-Mode'-stromen in de transmissielijn gaan lopen. Deze CM-stromen hebben in beide signaalleidingen dezelfde amplitude en fase. Als de twee geleiders niet te ver uit elkaar liggen kunnen we ze voor de CM-stromen als één geleider beschouwen.

We kunnen nu, naast de benadering van velden uitgestraald door de lus, ook de velden ten gevolge van de CM-stroom in de geleiders benaderen. Voor de emissie van deze E-velden door een draad wordt de vergelijking van het E-veld van de kleine elektrische dipool gebruikt. Voorwaarde is dat de lengte van de draad klein is ten opzichte van de golflengte λ van het signaal ($U<\lambda/2\pi$). In het verre veld, waar de afstand van de lus tot de meetantenne groot is ten opzichte van de golflengte λ van het signaal ($r>\lambda/2\pi$), wordt het elektrische veld van een elektrische dipool gegeven door:

$$E = 6{,}3 . 10^{-7} \; \frac{f \; I(f) \; l}{r} \qquad (6)$$

Hier is:			
	l	= Lengte van de draad	[m]
	f	= Frequentie	[Hz]
	$I(f)$	= Stroomamplitude bij frequentie f	[A]
	r	= Afstand tot de antenne	[m]

Hier zien we de afhankelijkheid van het produkt van de stroom en de lengte van de antenne. Dit produkt wordt het elektrische dipoolmoment genoemd. Tevens is er de afhankelijkheid van de frequentie. Ook nu weer kunnen we de emissie laag houden door een logica te kiezen met een kleine bandbreedte en tevens door de transmissielijnen kort te houden. Ook het dicht bij elkaar leggen van de twee geleiders heeft een gunstige invloed op de emissie, omdat daardoor de CM-stromen kleiner worden.

Als we de vergelijkingen (5) en (6) naast elkaar plaatsen, zien we dat de emissie van een lus kwadratisch met de frequentie toeneemt en die van een draad evenredig met de frequentie. De voorfactor is bij de lus echter veel kleiner. Dit geeft aanleiding tot de vraag welke van de twee effecten het meeste bijdraagt aan de emissie van een lus als er een DM- en een CM-stroom door loopt. In het nu volgende deel zal hierop worden ingegaan.

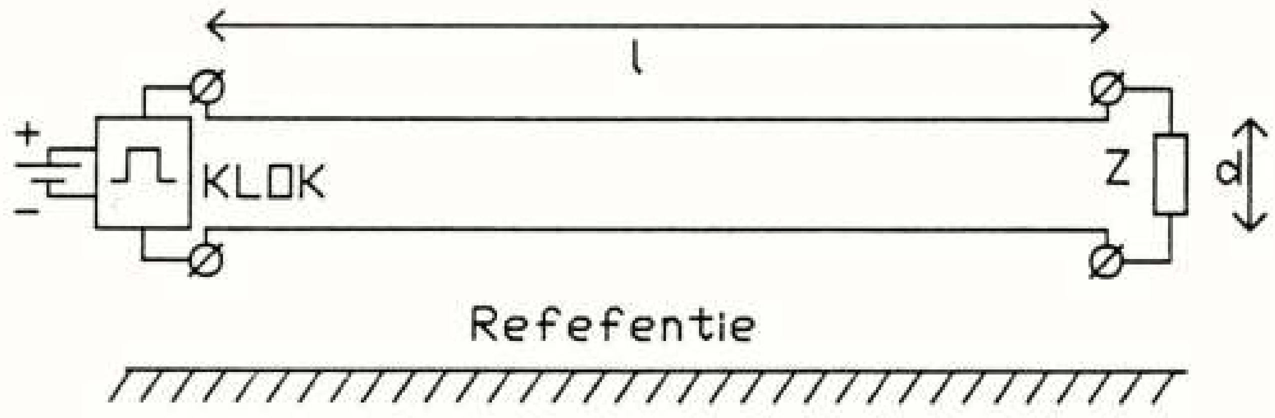


Fig.3 Transmissielijn voor digitale signalen.

Als voorbeeld zullen we voor de DM-stromen de lus van Fig.3 beschouwen. Voor de CM-stromen zullen we de beide geleiders als één enkele draad beschouwen. De breedte van de lus is d [m], de lengte van de lus en draad is l [m]. In de lus loopt een stroom I_{DM}. Deze DM-stroom in de lus heeft een CM-stroom I_{CM} over de lus tot gevolg. Om nu te kunnen bepalen wanneer elk van de twee effecten (DM- of CM-straling) het belangrijkst is, worden vergelijkingen (5) en (6) aan elkaar gelijk gesteld. Om (6) te kunnen gebruiken wordt de transmissielijn als één enkele draad met lengte l beschouwd. De frequentie waar beide E-velden gelijk zijn, is het punt dat we zoeken. Deze frequentie is:

$$f_o = 4{,}7.10^7 \ \frac{1}{d} \ \frac{I_{CM}}{I_{DM}} \qquad (7)$$

We zien dat het cross-over punt alleen bepaald wordt door de afstand tussen de twee geleiders en de verhouding tussen de CM-stroom en de DM-stroom.

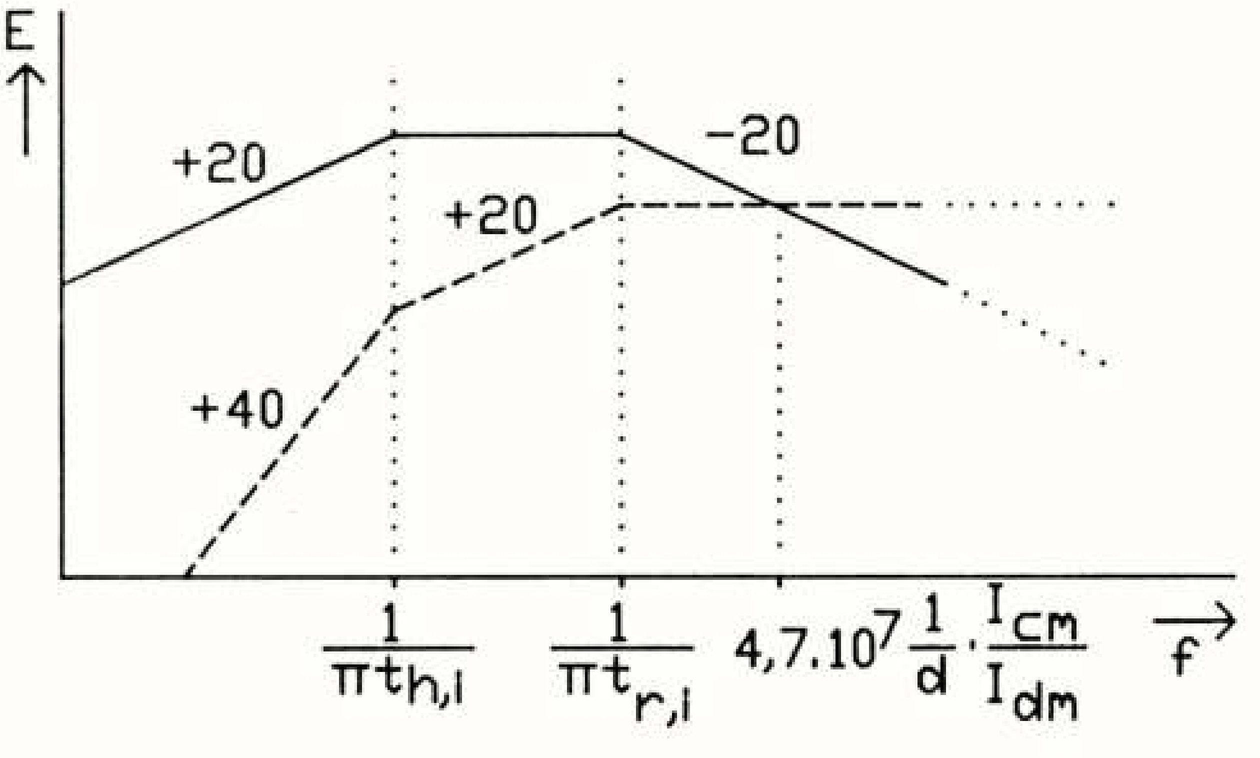


Fig.4 Emissiespectra van een lus (DM)--- en een draad (CM)——

In Fig.4 staan de emissiespectra van de draad (ten gevolge van de CM-stroom) en van de lus (ten gevolge van de DM-stroom) grafisch weergegeven, waarbij we ervan uitgaan dat de stroom een trapeziumvormige puls is, zoals eerder beschreven. Uit deze figuur kunnen we zien dat bij frequenties kleiner dan f_o de CM-emissie de grootste bijdrage aan het veld levert. Daarboven is de DM-emissie het belangrijkst. Merk op dat er hierbij vanuit wordt gegaan dat de verhouding tussen de DM-stroom en de CM-stroom onafhankelijk van de frequentie is. Ter afsluiting van dit deel volgt nog een rekenvoorbeeld dat aangeeft hoe belangrijk de CM-emissie is.

VOORBEELD VAN DM- EN CM-EMISSIE.

Beschouw een transmissielijn als in Fig.3.

De lengte van de lijn	l = 200 mm
Afstand tussen de geleiders	d = 2 mm
DM-stroom in de lus bij 75 MHz	I = 1 mA
CM-stroom op de lus t.o.v. de DM-stroom	0,01
(dit is een verhouding die vergeleken met de praktijk klein is)	
Afstand tot de lus	r = 10 m
Frequentie	f = 75 MHz

Wanneer we nu met behulp van (5) de straling van de lus berekenen volgt:

$$E_{lus} = 15{,}4 \ dB(\mu V/m)$$

Wanneer we nu de CM-stroom (10 μA) op de lus beschouwen en het E-veld met (6) berekenen, volgt:

$$E_{draad} = 25{,}5 \ dB(\mu V/m)$$

We zien dat de CM-emissie van de lus bij 75 MHz veel belangrijker is dan de DM-emissie.

Wanneer we (7) gebruiken vinden we dat de cross-over frequentie bij 238 MHz ligt. Aangezien vele emissieproblemen optreden tussen 30 en 300 MHz, zal -wanneer deze verhouding tussen de CM- en DM-stromen bestaat- de CM-emissie overheersen. Ook voor aangesloten kabels geldt dat de CM-effecten het meest belangrijk zijn. Hiervoor wordt verwezen naar de literatuur (Coenen; 1989 e.a.).

MAATREGELEN IN DE COMPONENTEN.

De fabrikanten van IC's zijn zich zeer bewust van de EMC-problemen met moderne componenten. Daarom worden bij moderne logica-families diverse maatregelen genomen om de emissie van velden, die mede veroorzaakt wordt door de soort logica en uitvoering van behuizing, te beperken. In het nu volgende deel zullen een aantal zaken de revue passeren.

ADVANCED CMOS LOGIC.

Een bekend probleem bij digitale schakelingen is dat de ontkoppeling van de voedingsaansluiting niet goed kan worden uitgevoerd. Bij oudere types IC's zijn namelijk de voedingspennen op de hoekpunten van het IC geplaatst. Hierdoor is de zelfinductie in serie met de ontkoppelcondensator (vuistregel 1 nH/mm) groot, waardoor er geen goede ontkoppeling mogelijk is. In de literatuur (Danker; 1990) is reeds aangetoond dat een lage zelfinductie van de ontkoppellus een zeer belangrijke parameter is voor een goede ontkoppeling van de voeding.

Bij de nieuwe Advanced CMOS Logic (ACL) van Texas Instruments en Signetics is daarom gekozen voor een andere plaatsing van de voedingspennen van de IC's. In tegenstelling tot de oude opstelling op de hoeken, de zogenaamde 'Corner Supply Pinning', is nu gekozen voor een plaatsing in het midden van het IC, de zogenaamde 'Center Supply Pinning'. Tevens heeft men ter verlaging van de zelfinductie meerdere voedingspennen parallel geplaatst, zie Fig.5.

Het voordeel van deze maatregelen is dat de ontkoppelcondensator van de voeding zeer dicht bij de chip geplaatst kan worden. Hierdoor is de zelfinductie in serie met de ontkoppelcondensator een stuk kleiner. Het parallel uitvoeren van de voedingspennen zorgt nog voor een extra verlaging van de zelfinductie.

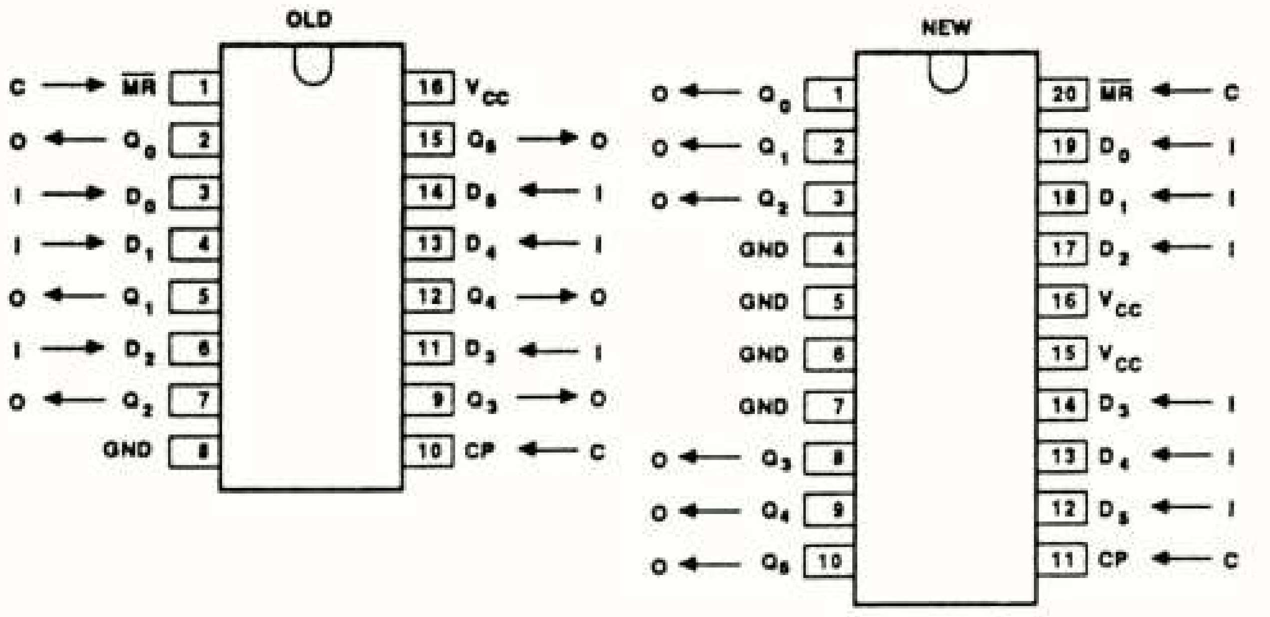


Fig.5 Vergelijking van 'Corner' en 'Center Supply Pinning'.

Bij het ontwerpen van PCB's voor snelle buffercircuits (sturing van grote stromen) is het van belang om een goed printontwerp met transmissielijnen te maken. Een maatregel die hiervoor bij de nieuwe ACL-circuits is genomen, is het opnieuw bepalen van de plaats van de in- en uitgangen. In Fig.5 zien we dat in de oude situatie de in- en uitgangspennen door elkaar op het IC zaten. Ook het feit dat in de nieuwe IC's de Ground-pennen aan de uitgangszijde zitten, zorgt ervoor dat men een goede transmissielijn voor de uitgangssignalen kan maken. Men dient hierbij rekening te houden met het feit dat ACL-logica uitsluitend op printen met aardvlak gebruikt kan worden, indien men de bandbreedte van ACL-circuits ten volle gebruikt. Behalve een beter printontwerp met deze opstelling zal ook de overspraak van in- en uitgangen kleiner zijn door de fysieke scheiding.

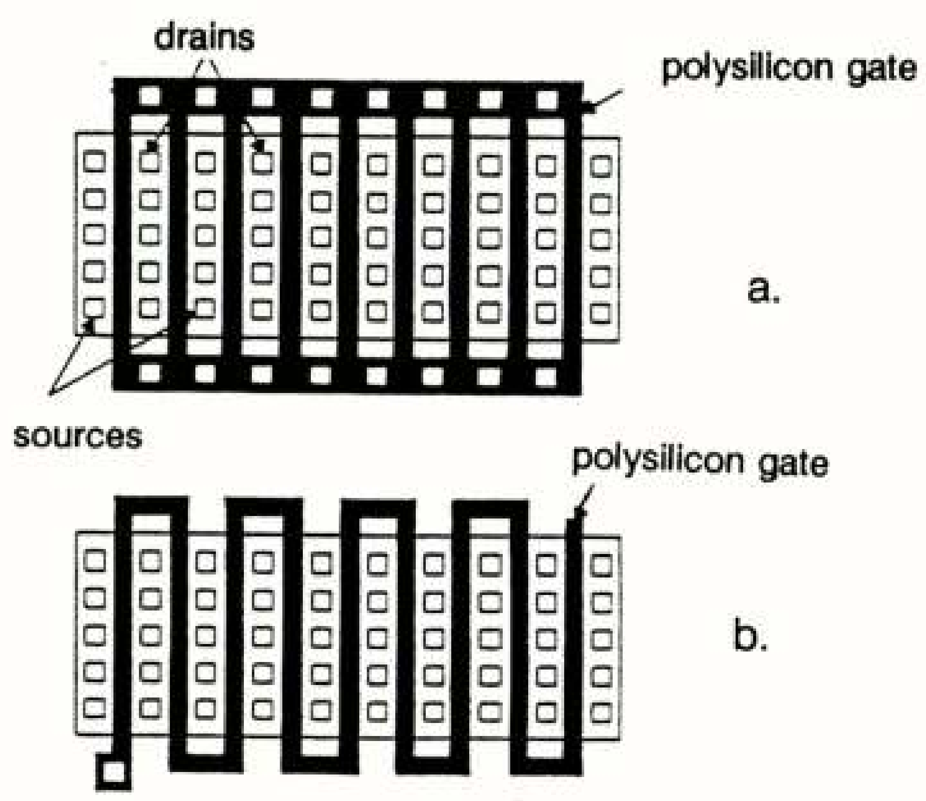


Fig.6 Uitgangsstructuur van ACL-IC a) zonder OEC, b) met OEC.

Zoals reeds vermeld wordt de bandbreedte van de logica (mede) bepaald door de stijgtijd van de spanning. Een lagere emissie zou gerealiseerd kunnen worden door de stijgtijd groter te maken. Dit is een van de redenen dat Texas Instruments en Signetics in de ACL-serie de zogenaamde 'Output Edge Control' (OEC) toepassen. Hierbij is het ontwerp van de uitgangstrap van een poort zodanig veranderd (Fig.6), dat er (onder normale belastingscondities van 50 pF) minder steile flanken aan de uitgang verschijnen. De flanken zijn echter nog steil genoeg is om de gespecificeerde klokfrequenties te kunnen realiseren.

Tevens is er bij het ontwerp van de uitgang voor gezorgd dat de tijd dat de beide transistoren van de uitgang geleiden minimaal is. Dit heeft tot gevolg dat de zogenaamde 'cross current' klein is (TI Designers Handbook; 1987), waardoor het IC minder storing op de voedingslijnen veroorzaakt.

De effecten van de 'Center Supply Pinning', de nieuwe 'pinning-layout' en OEC zijn samengevat in Fig.7. Hier is een test uitgevoerd om het verschil aan te tonen tussen een 'gewone' ACL-buffer en een buffer van Texas/Signetics.

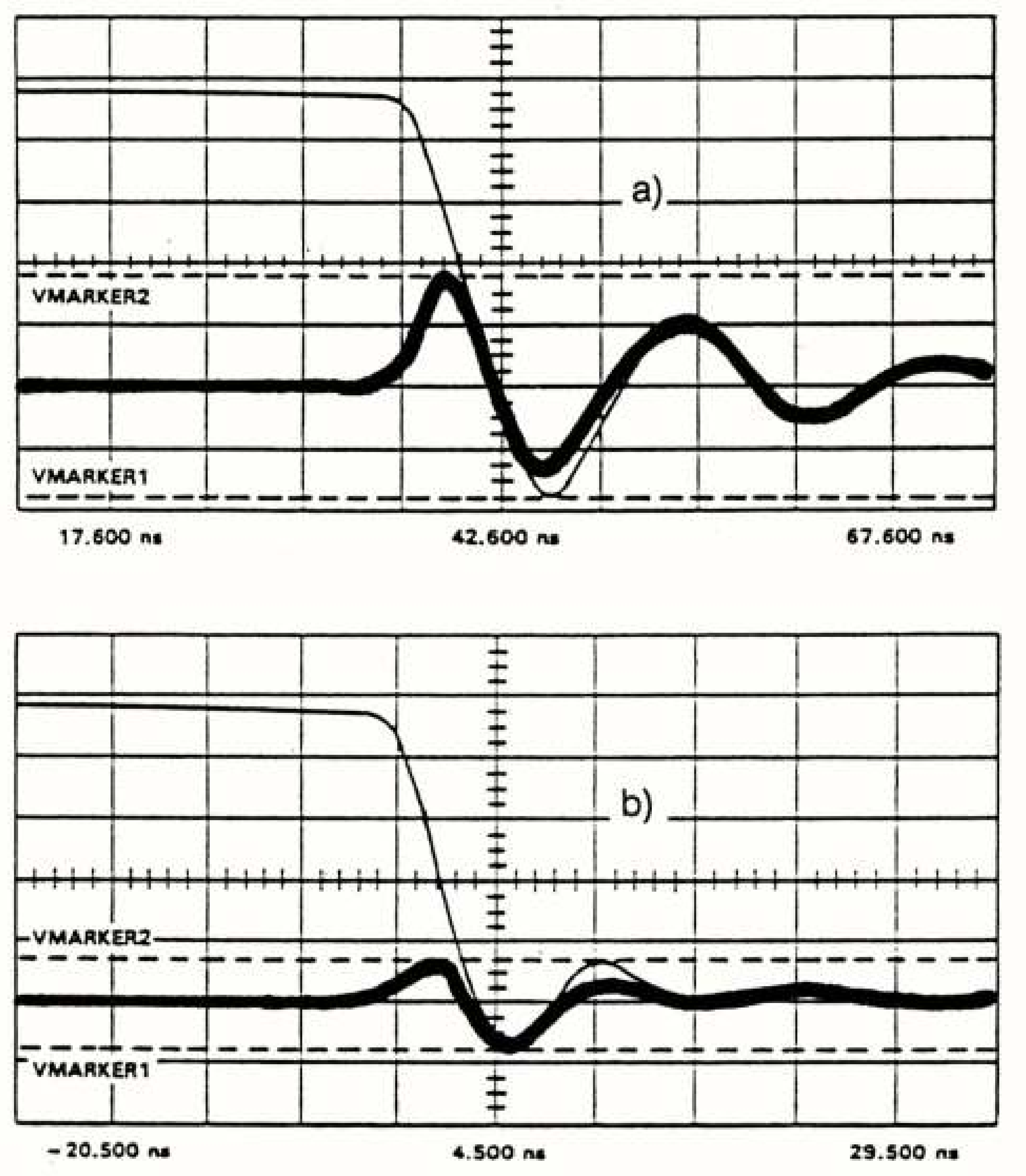


Fig.7 Vergelijking van de 'Ground Bounce' van een ACL-IC met a) 'Corner Supply Pinning' en b) 'Center Supply Pinning' + nieuwe 'pinning-layout' + OEC.

Bij deze test worden 7 uitgangen van een 74AC(11)244 8-voudige buffer simultaan geschakeld. In Fig.7 wordt een van deze signalen weergegeven. Vervolgens wordt gekeken wat voor een signaal er op de achtste uitgang ontstaat, als deze in eerste instantie laag was. Dit is de dikke lijn in Fig.7. Wanneer we Fig.7a ('Corner Supply Pinning') vergelijken met Fig.7b ('Center Supply Pinning') dan is het verschil direct duidelijk. De 'Ground Bounce' (variatie van de uitgang t.g.v. serie-zelfinductie in de pennen en bonding-draden) is door toepassing van 'Center Supply Pinning' en OEC veel kleiner.

ADVANCED BICMOS INTERFACE LOGIC.

De laatste ontwikkeling op het gebied van IC's is de combinatie van bipolaire en CMOS ontwerptechnieken, de zgn. Advanced BiCMOS Interface Logic (ABT). Door toepassing van CMOS intern in het IC, kan de dissipatie laag gehouden worden. Daarnaast worden de in- en uitgangen van het IC gerealiseerd in bipolaire technieken. Het voordeel hiervan is dat de flanken van de signalen beter gecontroleerd kunnen worden in vergelijking met CMOS, zodat de flanken niet evenredig toenemen met de snelheid van de logica. Dit zal in de praktijk leiden tot een betere transmissie van signalen (minder reflecties, 'ringing', etc.). Ook heeft dat voordelen door een reductie van de CM- en DM-emissie en 'Ground Bounce'. In Fig.8 (Signetics Data Book; 1991) is een samenvatting gegeven van de 'Ground Bounce' (het positieve deel uit Fig.7) voor de verschillende logica-families.

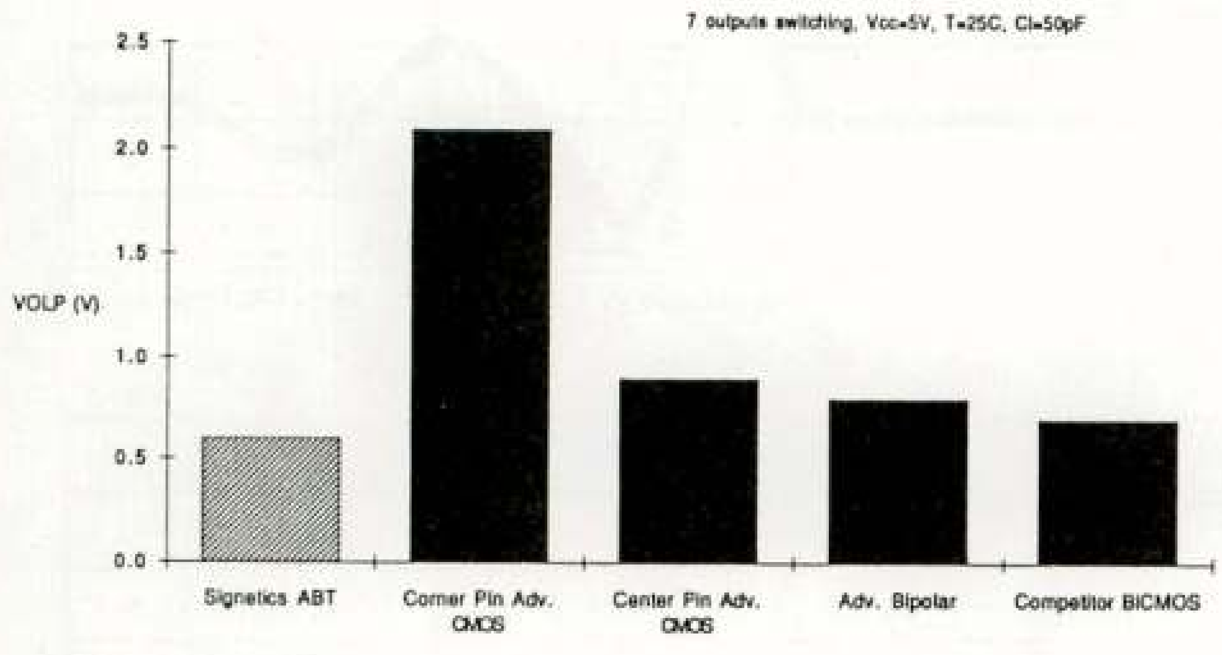


Fig.8 'Ground Bounce' van diverse logica-families.

We zien dat er met de evolutie van de logica steeds meer maatregelen worden genomen om de EMC-eigenschappen op component-niveau te verbeteren. Dat moet ook wel, omdat anders de componenten niet meer toe te passen zijn in digitale systemen. Dit alles ten gevolge van de schaalverkleining in de IC-processen en de bandbreedte-vergroting, die daar een gevolg van is.

CONCLUSIE.

Er is een eenvoudige methode aangegeven om de stroomparameters van digitale circuits te benaderen. In de praktijk is gebleken dat deze benadering in de meeste gevallen nauwkeurig genoeg is.

De emissie van een lus is beschreven en er is aangetoond dat de CM-emissie van een transmissielijn op een print vaak belangrijker is dan de DM-emissie van de lus gevormd door de transmissielijn op de print. Overigens is de CM-emissie ook een goede benadering van de emissie van kabels die aan het systeem verbonden zijn.

Tenslotte is aangegeven dat (een aantal) fabrikanten zich bewust zijn van de EMC-problemen in digitale systemen en dat er hard aan gewerkt wordt aan het verbeteren van de EMC-eigenschappen van IC's.

LITERATUUR.

(1) C.A. Balanis; "Antenna theory"; Harper & Row, New York; 1982.

(2) M.J. Coenen; "Electro Magnetic Compatibility and Printed Circuit Board Constraints"; Lab. Report no.: ESG 89001; Philips Components; 1989.

(3) M.J. Coenen; "An Evaluation Method to Characterize the EMC Performance of PCBs Containing ICs"; Lab. Report no.: ESG 88001; Philips Components; 1989.

(4) B. Danker; "EMC ontwerpen van printplaten"; Pato cursus hoofdstuk 15; 1990.

(5) J.J Goedbloed; "Elektromagnetische Compatibiliteit"; Kluwer Technische Boeken B.V.; Deventer; 1990.

(6) L.P. Janssen; "Digitale Elektronica"; Pato cursus hoofdstuk 4; 1990.

(7) H.W. Ott; "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems, second edition"; John Wiley & Sons, New York; 1988.

(8) Signetics Advanced BiCMOS Interface Logic; Data Book IC23; 1991

(9) Texas Instruments Advanced CMOS Logic; Designers Handbook; 1987.

Voordracht gehouden tijdens de 384e werkvergadering.

Onderwijs en EMC

Dr. J.J. Goedbloed
Philips Research Laboratories
Eindhoven, The Netherlands

Education and EMC. Material is presented to contribute to the discussion about the incorporation of Electromagnetic Compatibility (EMC) studies in the technical educational system in the Netherlands. After summarizing a number of the important needs, it is discussed which transfer of basic knowledge is often missing in today's education when no explicit attention is paid to EMC. A suggestion is made how to start the incorporation of EMC in the present study programs in general and in those of typical schools and universities in particular. In addition, some attention is paid to 'who should/could do what and where'.

1. Inleiding

De voordrachten over Elektro-Magnetische Compatibiliteit (EMC), gehouden op de lezingendag van het NERG en de Sectie Benelux van de IEEE [1-7], maken duidelijk dat het streven naar een situatie waarin onze elektrische en elektronische apparaten ongestoord naast elkaar kunnen functioneren een dringende noodzaak geworden is. Deze noodzaak wordt ook door de wetgever gezien, wat tot gevolg heeft dat per 1 Januari 1992 de EMC-richtlijn van de EEG van kracht wordt [8-10].

Vraag een full-time EMC-er naar zijn werkzaamheden of naar de manier waarop zijn EMC-werk tot een bloeiende activiteit is uitgegroeid. Dan volgt 9 van de 10 keren een antwoord waarin cursus geven in EMC een belangrijk onderdeel van het dienstenpakket is. Bovendien: aan cursisten geen gebrek. Dit geeft aan dat er, wat EMC betreft, een gat zit tussen datgene wat de onderwijsinstituten aan hun leerlingen hebben meegegeven en datgene wat in de praktijk van de afgestudeerden wordt gevraagd.

Gelukkig begint het reguliere onderwijs EMC te ontdekken en is men al op een aantal plaatsen bezig het onderwijspakket aan te passen, doch Nederland loopt in deze zeker niet voorop. Dat laatste is mogelijk ook een gevolg van de zeer beperkte aandacht die de Nederlandse overheid schenkt aan de consequenties van de invoering van de EMC-richtlijn. In landen als het Verenigd Koninkrijk [11] en Duitsland is de overheid duidelijk actiever met deze richtlijn bezig en is ook het EMC-onderwijs duidelijk verder dan in Nederland. Buiten de EEG, bijvoorbeeld in de U.S.A., is het onderwijs in behoorlijke mate EMC-bewust, mede door activiteiten van de EMC Society van de IEEE.

De EMC-richtlijn is overigens niet de enige factor ten aanzien van 'EMC-onderwijs ja of nee', waarover straks meer.

Het doel van dit artikel is een aantal zaken met betrekking tot "Onderwijs en EMC" op een rijtje te zetten aan de hand van praktijk-ervaringen opgedaan bij het oplossen en voorkomen van EMC-problemen bij produkten en produktiemiddelen, bij het geven van EMC-onderwijs binnen Philips en de PATO EMC-cursus en bij onderwijs-contacten met de TU Eindhoven, Toptech Studies TU Delft en de Hogescholen van Utrecht (Lokatie Hilversum) en Eindhoven. In §2 wordt de noodzaak tot het geven van regulier EMC-onderwijs besproken. Daarna volgen in §3 een aantal belangrijke punten met betrekking tot "Wat ontbrak (of ontbreekt er nog steeds) in het technisch onderwijs, zodat nadrukkelijk aandacht nodig is voor de EMC-problematiek.

Het is niet moeilijk te constateren dat EMC-onderwijs noodzakelijk is. Moeilijker is het om heden ten dage EMC-onderwijs te starten, ook al erkent men volmondig de noodzaak daarvan. Daarom in §4 een aantal opmerkingen over de start van het EMC-onderwijs. Tot slot in §5 een aantal voorbeelden met betrekking tot wie "wat en waar" doet, of zou kunnen doen.

Dit artikel is geen voorschrift hoe het Nederlandse Onderwijs de EMC-zaken aan moet pakken en is zeker niet volledig. Ik hoop slechts dat het bijdraagt aan de discussie hoe EMC snel in het reguliere onderwijs kan worden ondergebracht. Tot op heden heb ik nog geen onderwijsgevende ontmoet die afwijzend of zelfs maar aarzelend stond tegenover de noodzaak "iets aan EMC te doen", zodra hij of zij zich van de omvang van de problematiek bewust werd.

2. Noodzaak EMC-onderwijs

Een viertal 'verhogingen' maken dat we ons niet meer de luxe kunnen veroorloven elektrische en elektronische apparatuur op de 'oude' manier, d.w.z. zonder meenemen van EMC vanaf de ontwerp-fase, te ontwerpen. Die verhogingen zijn: verhoging van de dichtheid van elektrische en elektronische apparaten, verhoging van de snelheid van digitale elektronica, verhoging van het aantal subsystemen waaruit een systeem bestaat [4] en, zeker niet de minste, de verhoging van de eisen die de wetgever binnenkort stelt [8-10]. In §2.1 tot en met §2.4 lichten we dit viertal kort toe.

De genoemde vier aspecten maken het op zich al noodzakelijk dat ontwerpers (op alle niveaus) starten met een basiskennis van EMC. Verdere aspecten zijn kosten, zowel in het ontwerp- en fabricagetraject als in het installatie- en servicetraject (§2.5), produktie-stops (§2.6), veiligheid en aansprakelijkheid (§2.7) en klachten van stagiaires (§2.8).

2.1 Dichtheid

Heden ten dage wenst men (of in elk geval een interessant

groot gedeelte van die 'men') steeds meer functies te laten verrichten door elektronische apparaten. Sprekende voorbeelden daarvan zijn de toepassing van elektronica in het informatie-circuit [3], in automobielen [5] en in vliegtuigen [6]. Door de relatief beperkte ruimte waarbinnen dan wordt gewerkt, is de dichtheid van apparaten daar groot, waardoor de kans op ongewenste interacties (Elektro-Magnetische Interferentie, EMI) groot is. Wat dat betreft, vormen EMC-aspecten een menselijk trekje van apparaten: de kans op ruzie (EMI) neemt toe met de dichtheid.

Bekijken we het dichtheidsaspect wat nader, dan speelt dat op een aantal niveaus, waarvan het subsysteem/apparaatniveau in §2.3 ter sprake zal komen.

Systeemniveau.
De dichtheid van systemen is de laatste jaren duidelijk toegenomen, waardoor EMC-problemen ontstaan als gevolg van ongewenste emissie en als gevolg van een gebrek aan immuniteit. Ongewenste emissie geschiedt bijvoorbeeld door computers en andere digitale systemen. Hun ongewenste EM-velden zijn over een zeer breed frequentiegebied aanwezig, waardoor de kans groot wordt dat de ontvangst van gewenste radiosignalen (omroep, mobiele diensten, radio-astronomie [7]) wordt gestoord. De opkomst van de mobiele zenders (telefonie, walkie-talkie, radar e.d.) maakt het bijvoorbeeld noodzakelijk voor een basis-immuniteit te zorgen. Omdat de afstand tussen zender en het te storen apparaat zeer klein kan zijn [5, 6], kan de stoorveldsterkte hoog zijn.

Printplaatniveau.
In het bijzonder bij digitale schakelingen kan de dichtheid van componenten en geleiders zeer groot zijn. Computer Aided Design van printplaten is, wanneer daarin geen EMC-module is opgenomen, in de meeste gevallen niet meer mogelijk. Laat men daar de computer zijn gang gaan dan ontstaat een printontwerp dat leidt tot printplaten die veel storing produceren en erg vatbaar zijn voor storingen. Bij snelle digitale elektronica komt het steeds vaker voor dat het ontwerp topologisch gezien correct is, doch dat de schakelingen vanwege hoogfrequente effecten toch niet willen functioneren. In serieuze ontwerp-omgevingen wordt vaak meer dan de helft van de printplaat 'met de hand' ontworpen, waarna de computer het werk afmaakt.

Componenten-niveau.
De eis het chip-oppervlak zo klein mogelijk te houden geeft bij het ontwerpen van IC's vergelijkbare problemen als bij het ontwerpen van printplaten. Zij zorgt er tevens voor dat een IC naar buiten toe EMC-onvriendelijk kan zijn (zie ook §2.2), waardoor er bij de toepassing veel extra componenten nodig zijn om aan de redelijke EMC-specificaties te voldoen. In toenemende mate gaat men proberen EMC-vriendelijke IC's te ontwerpen, waar ook wat chip-oppervlak voor nodig is. Dus ook bij halfgeleidertechnologie speelt EMC een rol.

2.2 Snelheid digitale schakelingen

De moderne halfgeleidertechnologie levert uitsluitend (zeer) snelle digitale bouwstenen af, los van de vraag of die snelheid voor onze schakeling nodig is of niet. Zoals in [4] is uiteengezet, produceren deze bouwstenen relatief sterke stoorsignalen over een frequentiegebied dat al gauw tot 1000 MHz doorloopt. Als bij de zeer snelle schakelingen met hoge klokfrequenties EMC-aspecten niet vanaf de ontwerpfase worden meegenomen dan is het alleen met een dosis geluk mogelijk om de schakelingen werkend te krijgen en mag men blij zijn als er nog realistische middelen zijn te vinden om het betreffende apparaat aan de wettelijke emissie-limieten te laten voldoen. De wetgever is daarbij nog vriendelijk. Hij stelt namelijk: "Gij zult Uw buurman niet plagen", en veronderstelt dus een redelijke minimum-afstand tussen Uw stoorbron en Uw buurman. Het gevolg is dat de wettelijke eisen vaak minder zwaar zijn dan de eisen ten aanzien van apparaten of schakelingen, die ongestoord in elkaars nabijheid moeten functioneren, de zogenaamde wenselijke eisen.

Snelle digitale schakelingen blijken ook gemakkelijk foutieve beslissingen te nemen als gevolg van impulsvormige stoorsignalen, in het bijzonder die welke worden veroorzaakt door ontladingen van elektrostatische elektriciteit [12], zodat ook hiermee bij het ontwerp rekening moet worden gehouden.

2.3 Aantal subsystemen

Teneinde flexibel te zijn, worden in toenemende mate systemen uit los leverbare subsystemen opgebouwd. De vele interconnecties die daarbij nodig zijn en waarover vaak (te) breedbandige digitale signalen worden verstuurd, worden helaas nog te vaak ontworpen onder het motto "Als er een lampje op brandt, zal het wel goed zijn". Als men bedenkt dat juist de kabels aan apparaten uitstekende zend- en ontvangantennes van en voor stoorsignalen zijn [13], dan is het duidelijk dat aan het EMC-gedrag van kabels veel aandacht moet worden geschonken. Overigens komen in alle disciplines waarin gebruik wordt gemaakt van elektronische apparatuur (natuurkunde, scheikunde, mechanica, enz.) veel stoorproblemen voor, doordat men bijvoorbeeld apparaten verbindt op de wijze waarop men thuis zijn verlichting aanlegt, of doordat men een niet-gefundeerd vertrouwen heeft in zogenaamde afgeschermde kabels en niet weet dat een afscherming slechts in één (redelijk bijzonder) geval met de referentie moet worden doorverbonden en dat het in alle andere gevallen op twee welgekozen punten moet gebeuren.

De gevraagde aandacht moet er niet alleen zijn ten aanzien van de elektrische eigenschappen van de kabel, doch ook (of juist) ten aanzien van de signalen die men over die kabels wil verzenden. Dat laatste wordt nog al eens vergeten omdat deskundigen in signaalbewerking de signalen definiëren en vervolgens verzuimen daar een EMC-beschouwing op los te laten. ISDN (Integrated Services Digital Network) is daarvan een voorbeeld [3], evenals de bemonsteringsfrequentie (13,5 MHz) van digitale signalen die door de CCIR wereldwijd is gestandaardiseerd [14]. Het kan dus geen kwaad als ook signaalbewerkingsdeskundigen EMC-bewust worden gemaakt.

2.4 De EMC-richtlijn

Per 1 Januari 1992 treedt de EMC-richtlijn van de Europese Gemeenschap in werking. Vanaf die datum moeten alle elektrische en elektronische apparaten die op de markt worden gebracht aan zekere basis-eisen voldoen ten aanzien van de limitering van de emissie van ongewenste signalen en van de susceptibiliteit (vatbaarheid) van die apparaten voor ongewens-

te signalen [8]. De feitelijke eisen staan in de diverse Europese Normen [9, 10]. (Tot 31-12-1995 is het nog toegestaan om 'slechts' aan de diverse, thans bestaande landenwetgevingen te voldoen).

De richtlijn houdt dus rekening met de twee basis-aspecten van EMC, te weten emissie van stoorsignalen en susceptibiliteit voor stoorsignalen. Ten aanzien van de limitering van de emissie is voor een aantal typen apparaten (bijvoorbeeld huishoudelijke apparaten [15]) al ervaring opgebouwd. Doch voor tal van andere typen moet men nog een goede vaardigheid opbouwen, zoals voor IT-apparaten (Informatie-Technologie-apparaten, zeg: de digitale apparaten [16]), tenzij men gewend is aan landen te leveren waar al geruime tijd wettelijke emissie-limieten voor deze apparaten gelden (bijvoorbeeld Duitsland en de U.S.A.). Het stellen van wettelijke immuniteitseisen (limitering van de vatbaarheid) is voor de meeste typen apparaten nieuw.

Wil men aan alle wettelijke eisen op een prijsbewuste manier voldoen, dan zullen de diverse EMC-aspecten vanaf de ontwerpfase moeten worden meegenomen. Om dit te kunnen doen, moeten de ontwerpers over EMC-basiskennis beschikken.

2.5 Kosten

Als het EMC-bewust ontwerpen, installeren en gebruiken van apparaten nooit extra kosten met zich mee zou brengen, dan was dit artikel nooit geschreven. Die kosten zijn er echter wel degelijk en stijgen sterk naarmate men verder in het traject 'van de wieg tot het graf' van een apparaat komt. Een voorbeeld: EMC-technisch onjuist gekozen posities voor de aansluiting van de bedrading aan een printplaat kunnen tot gevolg hebben dat bij het uiteindelijke apparaat alle kabels moeten worden voorzien van doorvoer-filters.

Ervaring leert dat het eerder regel dan uitzondering is dat in niet-EMC-bewuste omgevingen 60-80% van de kosten van herontwerp van printplaten en subsystemen erin gaan zitten het uiteindelijke systeem aan de wettelijke en wenselijke EMC-eisen te laten voldoen. Bij de hedendaagse snelle digitale schakelingen met een hoge klokfrequentie is het een heel probleem het gewenste signaal goed te krijgen, zeker als de schakelingen door een 'standaard' digitale-elektronicus wordt ontworpen (de meeste stoorproblemen zijn namelijk 'analoge problemen'). Het is daarbij geen uitzondering dat meer dan 50% van de ontwikkeltijd van de printplaat gaat zitten in het verkrijgen van intra-systeem-compatibiliteit.

Tot slot: naar schatting wordt 60-80% van de serviceoproepen bij elektronische apparaten veroorzaakt door het feit dat de apparaten in en om de lokatie waar het stoorverschijnsel optreedt niet EM-compatibel zijn.

De kosten kunnen dus aantoonbaar omlaag als men EMC-gericht ontwerpt, fabriceert en installeert.

2.6 Produktie-stop

Wanneer de uitvoeringsvorm van een apparaat is vastgesteld, de produktielijn gereed is om te gaan draaien en het uiteindelijke model op EMC-eigenschappen wordt getest en niet aan de EMC-eisen blijkt te voldoen dan kan de produktie helaas niet worden gestart. Het alsnog aan deze eisen voldoen betekent dan: wijzigingen aanbrengen. Soms kan dat door handmatig toevoegen van ontstoor-componenten en zijn er alleen maar een extra werknemer, stoel, soldeerbout en bakje componenten bij de produktielijn nodig. Het gebeurt echter ook (Wet van de Meeste Pech) dat een printplaat compleet opnieuw moet worden ontworpen, met als gevolg dat allerlei produktie- en meetmiddelen, alsmede de toevoerstroom van alle componenten volledig opnieuw moeten worden ingeregeld. Een vertraging van enkele maanden behoort helaas niet tot de zeldzaamheden.

Een produktie-stop kan ook ontstaan doordat de machines en meetmiddelen langs de produktie-lijn niet EM-compatibel zijn, hetgeen men vaak pas merkt als de lijn de eerste keer wordt gestart. De subsystemen zijn vaak in verschillende afdelingen ontwikkeld en gebouwd, waarbij wel de datum waarop alles moet zijn geïnstalleerd, wordt vastgelegd maar niet de EMC-specificatie. Wat te denken, als eenvoudig voorbeeld, van een geautomatiseerd eindcontrole-systeem dat zijn beslissing goed/fout voornamelijk baseert op de hoeveelheid binnengekomen stoorpulsen afkomstig van de elektromagnetische schakelaars, kleppen, enz. langs de produktielijn. "Waren die schakelaars dan niet ontstoord?" Het antwoord is "Nee, want aan mechanici is nooit verteld dat zoiets nodig was." Hun is geleerd welk type klep moet worden gekozen en hoe het zit met de mechanische betrouwbaarheid. Mechanici moeten dus ook iets van EMC weten, zodat zij de goede vragen kunnen stellen aan de elektrische of elektronische ontwerpers.

2.7 Veiligheid en aansprakelijkheid

Waar veiligheid en de bijbehorende aansprakelijkheid belangrijk zijn, is EMC ook belangrijk. Bij de toepassing van elektronica in automobielen en vliegtuigen ligt dat voor de hand, zoals in [5] en [6] is aangegeven, maar ook in de industriële is het belangrijk, bijvoorbeeld bij de toepassing van robots. Helaas zijn zeer ernstige ongevallen bekend als gevolg van het ongecontroleerd rondzwaaien van de hydraulische robot-armen, bijvoorbeeld geïnitieerd door een stoorpulsje afkomstig van een ontlading van elektrostatische elektriciteit. In veel gevallen sloopt men tegenwoordig de elektronische veiligheidsketen uit de robot om die te vervangen door een ordinaire 'nooddrukker' omdat men de immuniteit van de elektronica niet voldoende kan garanderen.

In de huishoudelijke sfeer kan men ten aanzien van aansprakelijkheid het bekende voorbeeld uit de begintijd van de toepassing van microprocessoren aanhalen: de elektromagnetische kraan van de wasmachine mag alleen maar open gaan als dat ook werkelijk de bedoeling is.

2.8 Stagiaires

Voor een van de Hogescholen in ons land was een belangrijke reden iets aan EMC te gaan doen het feit dat, bij terugkomst na hun stage, te veel studenten klaagden: "Wij zijn niet goed opgeleid, want alles wat wij ontwerpen of maken, stoort en is vatbaar voor storing". Die studenten hebben er bij hun stage geen idee van hoe de stoorproblemen onder de knie te krijgen en in veel gevallen ook hun stagebegeleider niet. In paniek wordt 'met hagel geschoten' in de hoop iets te raken en blijkt men iets geraakt te hebben, dan weet men vaak niet eens met welk schot en zeker niet met welk hagelkorreltje.

3. Wat ontbrak of ontbreekt in het onderwijs

Grofweg zijn er een vijftal gebieden aan te geven waaraan het technisch onderwijs meer aandacht moet geven. Die gebieden zijn: 1) elektromagnetische(EM)-velden, 2) stroomkringen, 3) common-mode stromen op kabels, 4) niet-lineaire eigenschappen van halfgeleider-componenten en 5) het besef: "Werk niet breedbandiger dan strikt noodzakelijk!". Deze 5 punten zullen kort worden toegelicht. Ik besef dat deze paragraaf bij sommige lezers verontwaardigde reacties kan opwekken, in de trant van "Bij mij is dat alles niet van toepassing". In feite hoop ik dat alle onderwijsgevenden met recht zo reageren, doch een zevental jaren lesgeven in EMC binnen en buiten het Philips-bedrijf en het begeleiden van stagiaires hebben mij geleerd dat hoop en werkelijkheid hier nogal uit elkaar kunnen liggen.

3.1 EM-velden

Behalve tijdens de colleges/lessen over EM-velden wordt, enigszins provocerend samengevat, in het technische onderwijs slechts op een paar momenten over elektrische en magnetische velden gesproken; te weten bij de introductie van de condensator, de spoel, de elektromagneet, de dynamo en, o ja, bij de introductie van het begrip zelfinductie, zodat na die introductie niet meer over velden hoeft te worden nagedacht.

Een gevolg van het koppelen van de veldverschijnselen aan de introductie van de genoemde onderwerpen heeft tot gevolg dat de meesten zich onvoldoende realiseren dat

a) door iedere stroom, waar ook ter wereld en bij welke frequentie dan ook, een EM-veld wordt opgewekt. Dus, door alle stromen door printsporen, kabels, aardleidingen, betonijzer, enz. Dicht bij de stroomvoerende geleider is daarbij het gedrag van de magnetische component van het veld de belangrijkste, zodat we altijd rekening moeten houden met de zelfinductie en wederzijdse inductie van stroomkringen.

b) Bij elke spanning tussen twee geleiders altijd een EM-veld hoort. Dus tussen printsporen, tussen geleiders in een bandkabel, tussen contactpunten van een open schakelaar, enz. Dicht bij die geleiders is de elektrische component van het veld de belangrijkste. Een gevolg is dat we altijd rekening moeten houden met de mogelijke invloed van (parasitaire) capaciteiten tussen de geleiders.

In de praktijk blijkt dat het grootste deel van de stoorproblemen ontstaat door het verwaarlozen van de veldinvloeden, in het bijzonder van de velden veroorzaakt door stromen. De huidige dichtheid van de elektronische schakelingen en de breedbandigheid van de bijbehorende signalen, staan deze verwaarlozing niet meer toe. We moeten dus leren om in de schema's niet alleen de gewenste eigenschappen van de componenten aan te geven om er daarna 'Kirchhoff op los te laten', maar ook de ongewenste eigenschappen (zelf- en wederzijdse inductie en parasitaire capaciteiten) in de beschouwingen te betrekken. Pas dan levert de toepassing van de wetten van Kirchhoff zinvolle resultaten op.

3.2 Stroomkringen

Mogelijk door het vele gebruik van oscilloscopen met bijbehorende spanning-opnemers, die zo gemakkelijk in de schakelingen zijn te prikken, wordt er in die schakelingen weinig naar stroomkringen gekeken, terwijl het bij EMC essentieel is de gang der stromen na te gaan (zie ook §3.1). Stromen lopen altijd in kringen, waarbij het natuurlijk niet alleen om de geleidingsstroom gaat maar ook om de verplaatsingsstroom als een capaciteit deel uitmaakt van de kring. (Bij hoge frequenties, waarbij het gedrag van geleiders te vergelijken is met dat van zend-antennes, kan men in het vervangingsschema de uitgestraalde energie verdisconteren door middel van een stralingsweerstand, waardoor in dat schema de stroom ook weer in een kring loopt).

Indien men niet in staat is de stromen in de schakelingen, subsystemen of systemen te volgen dan is het ook niet mogelijk op een goede manier na te denken over het nut van het 'aarden' van een schakelingen, etc. Aarden heeft hoogstens resultaat als de ongewenste stromen daarna bereid zijn door de aarde te gaan vloeien in plaats van door de schakeling. Of de stroom dat doet, wordt bepaald door de impedantie (vergeet de zelfinductie niet) van de kring waarvan de aarde deel uitmaakt ten opzichte van de parallelkring gevormd door de schakeling. Men doet er overigens goed aan de woorden 'aarde' en 'aarden' te reserveren voor veiligheidsbeschouwingen, waar de geel/groene aardgeleider een rol speelt, en bij EMC-beschouwingen te spreken over 'referentie' en 'refereren'. Gebruiken we die laatste woorden dan is meteen duidelijk waar het om gaat: voor het correct functioneren van de schakeling is, ten opzicht van een zekere referentie, een zekere minimum-signaal/stoor-verhouding nodig.

Naast het denken in stroomkringen is dus ook het denken in parallelle stroomkringen van wezenlijk belang, omdat we in de feitelijke schakelingen grote aantallen parallelle stroomkringen hebben. Meestal hebben die kringen een gedeelte gemeenschappelijk (bijvoorbeeld een referentie-geleider), waardoor er naast de inductieve overspraak tussen die kringen ook nog overspraak via een gemeenschappelijke impedantie mogelijk is.

Het denken in stroomkringen maakt ons leven als ontwerper/installateur heel wat gemakkelijker omdat we uit het gedrag van de stromen duidelijke aanwijzingen krijgen hoe verder te handelen. Deze aanwijzingen krijgen wij niet zo gemakkelijk als we naar spanningen kijken en zeker niet als we in termen van de elektro-statica denken. Spreken over equipotentiaalvlakken en potentiaalsprongen is zinloos als de frequentie van het stoorsignaal van nul verschilt.Door het denken in stroomkringen wordt het ook mogelijk in te zien dat een gevreesd iets, namelijk de "aardlus", een interessant middel is om stoorproblemen op te lossen: men biedt dan namelijk de stromen een weg aan waarin zij kunnen vloeien zonder een stoorprobleem te veroorzaken.

3.3 Common-mode stromen op kabels

Een belangrijke oorzaak van EMC-problemen zijn de common-mode-stromen (CM-stromen) in de kabels, aangesloten op printplaten, op subsystemen, enz. De CM-stroom is de stroom die men meet als de stroomtang om de gehele kabel (alle geleiders samen) is aangebracht. Bij emissie moet men bij voorbeeld letten op de CM-stroom die ontstaat doordat de referentiegeleider in de kabel op de printplaat een deel is van een kring parallel met een kring op die printplaat. De spanning over de gemeenschappelijke impedantie van die kringen is dan de drijvende kracht voor die stroom.

Meestal is het gewenste signaal ook niet (perfect) symmetrisch, wat ook een bijdrage tot de CM-stroom levert, waarbij

vooral de zogeheten transfer-impedantie [17] van de gebruikte kabel en de wijze waarop die kabel is gemonteerd een rol speelt. Bij bandkabel speelt de pin-keuze een belangrijke rol bij het ontstaan van CM-stromen.

Omdat aangesloten kabels al gauw elektrisch lang zijn, dat wil zeggen afmetingen hebben die in de buurt van $\lambda/4$ (of meer) komen, waarbij λ de golflengte van het stoorsignaal is, zijn kabels met hun CM-stromen effectieve zend-antennes. Om een voorbeeld te geven: in het frequentiegebied boven 30 MHz is, als vuistregel, een CM-stroom van meer dan 5 μA voldoende om niet te voldoen aan de wettelijke emissielimieten, die stellen dat bij die frequenties een veldsterkte van maximaal 30 μV/m op 10 m afstand van het apparaat is toegestaan [4, 16].

Kabels zijn ook goede ontvang-antennes voor externe velden [13]. Een vuistregel hierbij is dat externe velden CM-stromen op kunnen wekken tot een waarde van 10 mA per V/m veldsterkte. Bij 1 V/m kan men dus (afhankelijk van de feitelijke situatie) waarden tegenkomen tot zo'n 10 mA. Hoe erg dat is, wordt bepaald door de mate waarin de CM-stroom op de kabel wordt omgezet in, bijvoorbeeld, een ongewenste spanning tussen de basis en emitter van een transistor in de schakeling. Enkele jaren gelden waren er veel stoorklachten bij de moderne telefoons waarin een audio-versterker met halfgeleider-elementen was opgenomen. De klacht was dat men, als de hoorn van de haak werd genomen, de naburige omroepzender of zendamateur hoorde. De telefoonleidingen waren in deze de ontvang-antennes, de omzetting naar een hoorbaar signaal komt in §3.4 aan de orde.

De gebruikelijke coaxiale kabels hebben zeker geen transfer-impedantie die gelijk is aan nul, zelfs niet bij frequentie nul. De mantel van de kabel is immers een van de signaalgeleiders en bij frequentie nul is de transfer-impedantie gelijk aan de gelijkstroomweerstand van de mantel. Vanaf een zekere frequentie neemt die transfer-impedantie toe met de frequentie, waardoor er bij een gegeven stoorstroomsterkte steeds meer stoorsignaal in serie komt met het gewenste signaal op die kabel. Een kabel is een passief en lineair element, zodat het reciprociteitstheorema toepasbaar is. Dat wil zeggen dat een CM-stoorsignaal 'naar binnen' wordt gehaald en het gewenste signaal op die kabel in ongewenste common-mode naar buiten komt. Het is dus onjuist te vooronderstellen dat een coaxiale kabel een afgeschermde kabel is, een vooronderstelling die al heel wat stoorproblemen heeft veroorzaakt.

3.4 Niet-lineaire verschijnselen

Zoals ook duidelijk in [5] en [6] naar voren komt, vormen de EMC-problemen als gevolg van de interactie van ongewenste signalen met een niet-lineaire halfgeleider-component een zeer belangrijke klasse van problemen. Het niet-lineaire gedrag van die componenten wordt in het technisch onderwijs hoofdzakelijk in bepaalde contexten behandeld: "Hoe vind ik het instelpunt van mijn schakeling als ik de component op een gelijkspanningsbron aansluit?" en "Hoe verkrijg ik een versterker-schakeling die zich over een groot amplitude-bereik lineair gedraagt?".

Doordat het niet-lineaire gebeuren sterk context-gebonden is (vergelijkbaar met de situatie bij de velden, zie §3.1), heeft men geen erg in de EMC-aspecten die daarmee verbonden zijn. Het is immers zo dat ieder signaal -dus ook een ongewenst signaal- dat op een of andere manier bij zo'n component komt, in principe een niet-lineaire bewerking ondergaat. Is dat ongewenste signaal, bijvoorbeeld, als amplitude-gemoduleerd hoogfrequent signaal via de telefoonaansluiting (zie §3.3) afkomstig van een omroepzender, dan zullen de halfgeleider-componenten in de versterker van het telefoontoestel er voor zorgen dat dit signaal wordt gedetecteerd, zoals in vroeger tijden de kristal-ontvanger radiosignalen detecteerde. Het gevolg is dat de daardoor opgewekte gelijkspanning een verschuiving van het werkpunt veroorzaakt (ernstig bij allerlei regelschakelingen gebaseerd op een gelijkstroom-instelling), dat bovendien het modulatie-signaal naar een basisbandsignaal wordt getransformeerd,zodat het luid en duidelijk wordt mee versterkt. Dat laatste signaal gaat tijdens het telefoneren ook de lijn op, zodat de gesprekspartner kan 'meegenieten'.

3.5 Werk niet te breedbandig

De moderne halfgeleider-technologie maakt dat analoge en digitale componenten intrinsiek een grote bandbreedte hebben, terwijl we die bandbreedte lang niet altijd nodig hebben. Voor de temperatuurregeling van een oven is geen Gigahertz-bandbreedte nodig, voor het overzenden van een digitaal signaal via een RS232-bus is een bandbreedte van enkele tientallen kHz voldoende en verhogen de tientalle MHz die men 'cadeau' krijgt door zomaar een hedendaagse digitale bouwsteen te nemen alleen maar de kans op stoorproblemen.

Een belangrijke manier om de in §3.4 genoemde problemen te lijf te gaan is het beperken van de bandbreedte van de gestoorde schakelingen tot een waarde die strikt noodzakelijk is. Een audio-schakeling heeft genoeg aan een bandbreedte van enkele tientallen kHz. Ongewenste signalen bij hogere frequenties moeten dan zo behandeld worden dat zij geen grote amplitude kunnen krijgen opdat de niet-lineaire effecten verwaarloosbaar blijven. Dat betekent dat die audio-schakeling ook zorgvuldig moet worden ontworpen voor frequenties buiten de band van gewenste frequenties. Om een indruk te geven: een amplitude is al groot als deze vergelijkbaar is met de bekende term kT/q= 25 mV uit de diodestroomvergelijking. Bij frequenties buiten de band moet men denken aan frequenties tot zo'n 150 MHz, en aan banden rond te verwachten sterke stoorbronnen, bijvoorbeeld een band rond 920 MHz in verband met de nieuwe mobiele telefonie.

Bij digitale apparatuur is vooral de beperking van de bandbreedte op de koppelvlakken (interfaces) van zeer groot belang. Bij emissie is dat nodig vanwege de hoge effectiviteit waarmee de ongewenste CM-stromen plus de bijbehorende ongewenste velden worden gegenereerd (zie ook §3.3). Bij immuniteit is dat nodig vanwege het feit dat elk stoorpulsje met een amplitude van slechts 5 V tijdens het actieve moment van de schakeling voor een ongewenste verandering van de digitale toestand kan leiden. Aangezien de doorwerking van de stoorinvloeden van de plaats waar de storing bij het apparaat aankomt tot de plaats waar de bouwsteen ongewenst reageert, vrijwel altijd toeneemt met de frequentie, is het zaak er voor te zorgen dat het grootste deel van het spectrum van een stoorpuls 'er niet door komt' en derhalve niet kan bijdragen aan de opbouw van een stoorpuls-amplitude.

4. Start EMC-onderwijs

Na in de voorgaande paragrafen een globale schets te hebben gegeven van de probleemgebieden komt nu de vraag aan de orde: "Hoe zou het EMC-onderwijs van de grond kunnen komen in tijden waarin het onderwijs toch al zo onder tijdsdruk staat?" Natuurlijk moet iedere onderwijs-instelling dit zelf bepalen, doch een kleine richting-aanduiding kan wellicht geen kwaad.

Een belangrijke aanwijzing komt van de afgestudeerden. Na afloop van een EMC-cursus blijkt het telkenmale weer dat een groot aantal cursisten zegt: "In principe hadden we alle kennis al in huis, doch wij hadden er geen idee van dat we die kennis moesten gebruiken bij het voorkomen en oplossen van EMC-problemen." Vandaar de opmerkingen over context-gebonden kennis in de voorgaande paragrafen. Het ligt nu voor de hand na te gaan of integratie van EMC in de bestaande vakken mogelijk is, zodat het aantal speciale EMC-uren beperkt kan zijn. Laten we eens nagaan wat mogelijk is ten aanzien van een zeer belangrijk aspect: aandacht voor EM-velden (en hun relatie met EMC).

Breng de studenten het besef bij dat stromen en spanningen *altijd* gepaard gaan met velden. Vergeet voor een ogenblik dat alles zo mooi beschreven kan worden met de wetten van Maxwell, doch zet een draagbare radio of draagbare televisie naast een computer en 'scan' de FM-band eens af om te ontdekken dat allerlei harmonischen van de klokgenerator zijn terug te vinden en dat het TV-beeld vol spikkeltjes zit, als is afgestemd op een omroepzender, en dat met die TV-ontvanger de beeldinformatie van de computer is terug te vinden als de (lage) ontvangband wordt afgezocht. Een wat naïeve benaderingswijze, maar de student zal dit altijd onthouden. Als hem of haar dan ook nog wordt verteld dat de wettelijke en wenselijke EMC-eisen met zich meebrengen dat hij of zij dit soort ongewenste effecten acceptabel klein houdt, dan is men zich in elk geval al van een deel van de problematiek bewust en is de basis gelegd voor een stuk aandacht voor EM-velden waar -als dat onvermijdelijk is- de wetten van Maxwell weer mogen meedoen.

Geef bij de introductie van het begrip zelfinductie aan dat *elke* stroomkring zelfinductie heeft en niet alleen een spoel. Laat zien dat een goede eerste-orde-benadering van die zelfinductie wordt gegeven door de omtrek van die kring, in meters, maal 1 μH/m en doe dan de stap dat 1 m van die kring dus 1 μH vertegenwoordigt. Wanneer dan in een van de lessen over refereren (aarden) wordt gesproken, is het meteen duidelijk dat 1 meter geel/groene aardleiding voor een stoorsignaal met een frequentie van 100 MHz (FM-band) ruim 600 Ω in die kring vertegenwoordigt, wat dramatisch afwijkt van de "kleiner dan 1 Ω naar aarde" waarmee velen nog rekenen en waardoor ze niet begrijpen dat "aarding" niet helpt. Stroomkringen op printplaten hebben natuurlijk ook zelfinductie waarbij met 1 nH/mm (= 1 μH/m) wordt gerekend. Het wordt dan tijdens de lessen over digitale elektronica duidelijk dat de verbindingsdraden in een digitaal IC een wezenlijke invloed hebben op het signaalgedrag en de mate waarin zo'n IC kan worden ontkoppeld, beperken.

Wanneer de condensator wordt uitgelegd dan beperkt zich dat meestal de capaciteit en de diëlektrische verliezen. In veel gevallen heeft een condensator ook aansluitdraden, die een deel van een stroomkring vormen met afmetingen die wezenlijk bijdragen aan de zelfinductie van de betreffende stroomkring. Tussen de punten in de schakeling waar men als gevolg van de kortsluitwerking van de capaciteit (*C*) een lage impedantie verwacht is dan bij hoge frequenties (*f*) effectief een zelfinductie (L) aanwezig, waarbij hoog betekent $f > (2\pi\sqrt{LC})^{-1}$.

Naast de hierboven geschetste aandacht voor de magnetische component (H) van de veldsterkte, leidt de aandacht voor de elektrische component (E) tot de invoering van koppelcapaciteiten. Het kan dan bijvoorbeeld duidelijk worden gemaakt dat een spoel, waarvan we leren dat deze een zelfinductie en een verliesweerstand heeft, ook altijd wordt overbrugd door een parasitaire capaciteit, waarbij enkele tientallen pF's geen uitzondering zijn.

De combinatie van *E*- en *H*-componenten kan men dan tegenkomen bij de lessen over filters. Nu de meeste opleidingen computers gebruiken om de netwerken door te rekenen kan men daar waar nu alleen een ideaal *LC*-filter wordt doorgerekend ook een keer een niet-ideaal filter doorrekenen, dat wil zeggen een filter waarvan het gedrag meer in overeenstemming is met de praktijk. Het niet-ideale filter is dan het ideale filter uitgebreid met parasitaire zelfinducties in serie met de capaciteiten, teneinde de condensatoren realistisch te modelleren, en met parasitaire capaciteiten parallel aan de zelfinducties om de spoelen realistisch te modelleren. Tijdens een practicum kan men de filterkarakteristiek eens tot, zeg, 30 MHz laten doormeten en de invloed van de lengte van de draad tussen de referentie van het filter (de "aarde" van het filter) en die van de meetopstelling onderzoeken.

Met bovenstaand betoog is gepoogd aan te geven dat de zeer belangrijke EM-velden in tal van lessen zijn onder te brengen, zonder dat de lessen daardoor onaanvaardbaar langer gaan duren. De studenten komen het velden-aspect dan op tal van plaatsen tegen en het is niet meer zo strek context-gebonden als voorheen, zodat EM-velden een vast deel van hun denkwereld kunnen worden.

Een vergelijkbaar betoog is mogelijk voor de EMC-aspecten van niet-lineaire halfgeleider-componenten en de reductie van de bijbehorende stoorproblemen door reductie van de bandbreedte van de schakeling. Alle elektronici leren de tegengekoppelde versterker, doch de hoogste frequentie die wordt beschouwd is meestal die behorende bij zo'n 2 à 3 maal de bandbreedte. Het kost dan niet veel tijd uit te leggen dat de schakeling boven die frequentie nog steeds bereid is op aangeboden signalen te reageren en dat zoiets ongewilde consequenties kan hebben voor het gewenste signaalgedrag van het gehele systeem [18]. In de USA behoort een EMC-experiment over niet-lineaire effecten tot de standaard-practiumproeven [19].

Naast het onderbrengen van EMC-aspecten in de bestaande lessen kan het zinvol zijn, op zekere momenten in de studie, een aantal samenvattende, speciale EMC-lessen te geven, onder meer om aan te geven dat het aantal verschijningsvormen van stoorproblemen weliswaar uitbundig groot kan zijn, doch dat de oorzaken tot een redelijk beperkt aantal verschijnselen zijn terug te brengen. Verder kan men natuurlijk ook de mogelijkheid scheppen EMC als keuzevak te nemen. De praktijk leert dat studenten hiervoor zeker belangstelling hebben. Bovendien ziet het bedrijfsleven graag dat hun nieuwe werknemers al een EMC-basis in hun pakket hebben, zodat heel wat onnodige stoorproblemen worden voorkomen.

5. Wie, wat, waar

In deze paragraaf een aantal gedachten over wat de Universiteiten (§5.1), de Hogescholen (§5.2) en de Middelbare Technische Scholen (§5.3) zouden kunnen/moeten doen en een paar voorbeelden van EMC-onderwijs in Nederland. Natuurlijk is er ook Lager Technisch Onderwijs doch mijn pakket EMC-ervaringen maakt het niet mogelijk daar een goede kijk op te hebben. Ik hoop echter dat dit artikel ook voor de LTS-docenten zijn nut kan hebben.

5.1 Universiteiten

Voor zover mij bekend is, kunnen de Nederlandse studenten alleen aan de TU Eindhoven colleges in EMC volgen, namelijk bij Prof. P.C.T. van der Laan en Dr. A.P.J. van Deursen. De TU Eindhoven had vorig jaar ook de eerste promovendus in het vakgebied EMC aan een Nederlandse universiteit [21].

Naast het verzorgen van EMC-colleges doet de afdeling van Prof. van der Laan ook veel nuttig werk op het gebied van 'EMC Consultancy', in het bijzonder om de toepassing van moderne elektronica in de buurt van schakelstations van energiebedrijven mogelijk te maken [1]. Voor de werkers in die bedrijven zijn, gemiddeld gesproken, signalen met frequenties boven de 40ste harmonische van de netfrequentie (de limiet in hun richtlijnen m.b.t. harmonischen) al hoogfrequent-signalen en juist zij ontdekken dat "Aarding en EMC" meestal slecht compatibel zijn.

Aan de TU Delft wordt theoretisch werk verricht in de vakgroep van Prof. A.T. de Hoop [22] en heeft de Post-Academische Studie "Chartered Telecommunication Engineer" van TopTech een EMC-module. Mij is niets bekend van de TU Twente en van de overige universiteiten, doch hopelijk kunnen zij mij op een hiaat in mijn kennis wijzen.

Aan de TU Eindhoven wordt sinds 1984 elk jaar een PATO-cursus EMC gehouden, cursusleider Dr. E.J. Maanders, cursusduur 6 dagen. Gemiddeld zijn er 90 cursisten per cursus zodat het een zeer succesvolle PATO-cursus is. De laatste jaren is er een toename is van deelnemers uit België.

Het zou de Nederlandse Technische Universiteiten niet misstaan als zij het mogelijk maakten in het vakgebied EMC af te studeren. In het Verenigd Koninkrijk is het, bijvoorbeeld, mogelijk aan de Universiteiten van York en Hull een Master's Degree in EMC te halen [20]. Het programma daarvoor omvat:

Inleiding (5 uur), Antennes (20 uur), EM-theorie (10 uur), Transmissie-lijnen, Overspraak en Afscherming (20 uur), EM-metingen en EM-milieu (10 uur), Computer Modelling van EM-problemen (10 uur), Propagatie van EM-verschijnselen (20 uur), Metingen en Meetsystemen (30 uur), EMC-normen en -testen en Radio Spectrum-management (20 uur), Signalen, Spectra, Ruis en Interferentie (30 uur), Fiber-optische technieken (10) uur en een zestal capita selecta. Daarnaast moeten de studenten ook nog een practicum volgen met de bijbehorende verslagschrijving.

Beide universiteiten stellen:

"... In preparation for the forthcoming EC legislation, UK electronics and electrical industries whose products incorporate electrical or electronic elements will need a much higher level of expertise in electromagnetic compatibility than is currently available. The main objective of the MSc course is to produce engineers whose knowledge of EMC will enable them to make important contributions to their companies up to and beyond 1992. ...".

Beide universiteiten maken ook deel uit van een EMC-consortium van universiteiten waar nu al zeven universiteiten in deelnemen. In Duitsland zijn (in de civiele) sector onder meer de Universiteiten van Karlsruhe en Hamburg-Harburg actief en goed bekend, in Frankrijk onder meer de Universiteit van Lille.

Er is al heel wat bereikt met de opbouw van het vakgebied EMC, doch er moet nog heel veel 'op niveau' worden uitgezocht, zodat hier nog een belangrijke onderzoekstaak voor de (Technische) Universiteiten is weggelegd. Dit onderzoek moet tevens naar een verhoogde belangstelling voor de toepassingen van EM-veld-theorie leiden.

Afdelingen die als eerste iets zouden moeten doen, de afdelingen waar men EM-velden bestudeert zoals bij antennes, lijken -gemiddeld genomen- nauwelijks aan EMC-problemen te (willen) werken. De redenen kan ik niet volledig doorgronden, doch er zijn wel wat punten aan te geven die 'drempelverhogend' blijken te zijn. Een paar daarvan zullen we kort aanstippen. Mocht een lezer dit aanstippen af en toe wat provocerend of wat naïef vinden, dan ben ik het met die lezer eens, doch het gaat erom een beeld over te brengen.

Een eerste punt is dat de afstand tussen theorie en experiment in de EM-veld-afdelingen vrij groot is. Er worden, bijvoorbeeld, antenne-structuren ontworpen en berekend alsof die antennes alleen op de wereld waren. De aard van hun toepassing maakt dat men voor dit uitgangspunt niet al te zeer hoeft te boeten. Daardoor is de theorie belangrijker geworden dan het experiment en zijn de werkers meer en meer wiskundigen geworden die het leuk vinden dat er EM-verschijnselen zijn, want daar kun je zo leuk aan rekenen zonder elk moment te worden geconfronteerd met het feit dat het gebruikte model de werkelijke situatie niet volledig beschrijft. Daar komt nog eens de algehele tendens bovenop dat de hedendaagse student verzot is op programmeren, wat iets anders is dan het opstellen van modellen.

Een gevolg is dat er een grote afstand is ontstaan tussen EM-veld-theoretici en diegenen die iets praktisch moeten realiseren: "Ik kijk wel uit EM-velden te gaan doen, daar heb je in de praktijk niets aan". Een dergelijke opmerking is heel triest, want 'EM-velden' kan best een 'sexy' vak zijn waarbij het opwindend is in te gaan op de uitdagingen die de werkelijkheid biedt. Het is dus een taak voor de universiteiten EM-veld-theorie terug te brengen naar een breed en belangrijk toepassingsgebied: het, elektromagnetisch gezien, correct ontwerpen van elektronische en elektrische apparaten. Dat lukt alleen door het vak aantrekkelijk te maken voor mensen die aan of met die apparaten werken, dus door te tonen dat je nut hebt van de energie die je erin stopt om iets over EM-velden te weten te komen.

Zijn de vragen met betrekking tot het vakgebied EMC in redelijke mate eenvoudig? Voor een deel "Ja", zeker als het gaat om het opbouwen van een nuttige basiskennis. Voor een deel inmiddels ook 'Nee', omdat het vakgebied zich al zo ver heeft ontwikkeld dat de eenvoudige vragen al zijn beantwoord. Het vakgebied zal zich echter niet verder kunnen ontplooien als er geen versterking van de theoretische aanpak komt, te zamen met een vertaalslag van theorie naar praktijk.

Een voorbeeld: het is theoretisch een interessant probleem

hoe in een gegeven punt de veldsterkte veroorzaakt door zeker type EM-veld-bron verandert als die bron wordt omgeven door een constructie van geperforeerd metaal en dat punt zich buiten of binnen die constructie kan bevinden. De praktijkvraag die aanleiding is tot de voorgaande probleemstelling, is de volgende: "Meneer Goedbloed, wij hebben hier een digitaal apparaat in een plastic omhulling en het zit meer dan 20 dB boven de wettelijk toegestane emissie-limiet in het frequentiegebied 30-300 MHz en we hebben al nagegaan dat 'het' niet afkomstig is van de aangesloten kabels. We willen het apparaat nu van een metalen kast voorzien, doch er moeten gaten in voor de luchtkoeling van de elektronica. Het gat-oppervlak moet minstens 400 mm^2 zijn, dus daar zal die afscherming wel lek zijn. *Wat moeten wij aan de werkplaats opgeven* opdat we straks toch aan de wettelijke emissie-limiet voldoen, geen koeling-problemen hebben en we niet de last hebben dat de schakelingen zich anders gaan gedragen als we de afscherming aanbrengen?"

Gaat men met deze praktijkvraag naar een EM-veld-theoreticus, dan zal deze terecht opmerken dat het antwoord hoogstens is te geven als het type bron bekend is, als de exacte positie van het scherm t.o.v. de bron en de overige elektronica bekend is, dat het eigenlijk alleen maar redelijk is uit te rekenen ('in de computer past') als het gaat om schermen met een zekere graad van symmetrie in de vormgeving, enz., enz. Op zich zeer relevante opmerkingen, doch oninteressant voor diegene die de werktekening voor de kast moet maken.

De uitdaging is dan: zóveel inzicht verkrijgen dat er toch een verantwoorde schatting kan worden gemaakt. Het is echter zo dat juist het schatten (het niet voor 100% exact blijven) iets is waar veel theoretici een probleem mee hebben, omdat zij in hun opleiding òf niet verder hoefden te gaan dan het opschrijven van de 'integraalvergelijking' waarbij -binnen het gebruikte model- alles exact was te formuleren of zij een sterk geïdealiseerde situatie kregen voorgeschoteld (vaak zonder zich bewust te zijn van de mate van idealisering), die exact was uit te rekenen.

Een grote uitdaging is ook het beschrijven van het EM-gedrag van een printplaat, dus van een uiterst ingewikkeld antenne-patroon. We willen graag zóver zien te komen dat we kunnen aangeven hoe de printplaat moet worden ontworpen opdat voldaan is aan de gestelde intra- en inter-systeem compatibiliteitseisen. De ingewikkeldheid van dit type probleem is echter zo groot, dat het de vraag is of het ooit recht-toe recht-aan kan worden opgelost. Met de huidige kennis van zaken moeten we zeggen: we zullen blij zijn als de printplaten zodanig kunnen worden ontworpen dat de waarschijnlijkheid dat aan de te stellen eisen wordt voldaan, acceptabel hoog is. Statistische EM-veld-beschrijvingen lijken noodzakelijk te worden en zijn momenteel nog niet voorhanden: een uitdaging voor de universiteiten om op basis van solide uitgangspunten aan te geven wat mogelijk is.

5.2 Hogescholen

Technische Hogescholen leveren afgestudeerden af die, zeker aan het begin van hun carrière, in uitvoerende omgevingen werkzaam zijn. Veel van de afgestudeerden komen in ontwerp/ontwikkel-afdelingen, waar een idee in een produkt wordt omgezet. Deze mensen moeten dus een goede basisopleiding in EMC hebben, willen zij effectief te werk kunnen gaan.

De praktijk leert dat het vooral de digitale-elektronicamensen zijn die grote problemen hebben met EMC. Zij zijn, gemiddeld genomen, slecht in staat om in stroomkringen te denken. Dat laatste is waarschijnlijk een gevolg van de manier waarop deze elektronici hun schema's tekenen: blokjes waarbij een verbindingslijntje aangeeft welk blokje met welk ander blokje communiceert, zodat het functionele gedrag uit het schema is terug te lezen. Hoe die blokjes in werkelijkheid functioneren is dan van ondergeschikt belang geworden; de aansluitgegevens staan immers in de data-boeken vermeld, evenals de benodigde voedingsspanning. Het is in zo'n situatie niet verbazingwekkend dat de feitelijke schakelingen EMC-rampen veroorzaken. Hier ligt een belangrijke taak voor de Technische Hogescholen.

De Hogescholen leveren ook afgestudeerden af in tal van andere vakgebieden dan de Elektrotechniek, zoals Procestechniek en Installatietechniek, waarin ook op uitbundige wijze van elektronische apparatuur gebruik wordt gemaakt. In die vakgebieden moet ook aandacht voor EMC zijn, wil men de processen en installaties ongestoord kunnen laten functioneren. Verder moet men in staat zijn klachten bij dat functioneren, indien nodig, als EMC-klachten te herkennen. Het gebeurt nog te vaak dat er apparaten defect worden verklaard, die het daarna bij de service-afdeling perfect doen omdat daar het EM-milieu wat vriendelijker is. Er ontstaat dan irritatie bij alle betrokkenen en het EMI-probleem is er geen stap verder mee opgelost. Men kan ook denken aan de vakrichting Bedrijfskunde, omdat het EMC maken van produkten een zeer goed samenspel vraagt tussen commerciële, technische, fabricage-, inkoop- en service-afdelingen. De stelling "EMC is de afkorting van **E**erst de **M**ens **C**ompatibel" is ook in zo'n situatie goed verdedigbaar.

Voor zover mij bekend is, hebben de Hogescholen van Utrecht (Lokatie Hilversum), Eindhoven en Haarlem EMC in hun pakket en volgt komend jaar de Hogeschool Venlo. De invulling van de lessen blijkt een mengsel te zijn van inpassen in de bestaande vakken, aparte lessen en een keuze-vak.

De genoemde Hogescholen maken gebruik van het materiaal van de PATO-cursus EMC en van het boek "Elektromagnetische Compatibiliteit" [23], dat niet alleen werd geschreven omdat de Philips EMC-cursus moest worden aangepast maar ook omdat de Hogescholen behoefte hadden aan Nederlandstalig onderwijsmateriaal". Het boek probeert daarom een hulp te zijn bij de opbouw van een goede basiskennis, aansluitend bij het niveau van de Hogescholen en dat van de top van de Middelbare Technische Scholen.

5.3 Middelbaar Technisch Onderwijs

Als laatste, doch zeker niet als minste, het Middelbaar Technisch Onderwijs. De afgestudeerden hiervan zijn in de industrie vaak de uitvoerders bij het opbouwen van installaties e.d. Voor hen zou een aangepast EMC-basispakket op zijn plaats zijn, vooral daar waar het EMC-installatievoorschriften betreft. Voor hen is een goed inzicht in de EMC-eigenschappen van kabels en hun afmontage en van afschermingen van belang.

Na enkele jaren inwerken groeien de MTS'ers vaak door

naar ontwerper/ontwikkelaar-functies. Men kan zeggen dat het bedrijf dan voor een aanvullende EMC-opleiding moet zorgen (de huidige situatie) doch, in samenspraak met een aantal typen bedrijven, zou men kunnen nagaan wat het minimale EMC-pakket voor deze studierichting moet omvatten. Ervaringen binnen Philips met ontwerpers/ontwikkelaars, oorspronkelijk van MTS-niveau, geven aan dat ook zij een breed basispakket op prijs stellen. Op dit moment is het mij niet bekend of er MTS-en zijn waar specifiek EMC wordt behandeld.

6. Samenvatting

In dit artikel is stof aangedragen voor een discussie over de invoering van EMC in het reguliere Nederlandse Onderwijs. Kijken we naar de noodzaak om iets aan EMC te doen dan kan de conclusie alleen maar zijn: EMC invoeren. Het gaat dan eigenlijk alleen om het "Hoe en Wat". Vooral ten aanzien van het "Wat" is getracht een aantal belangrijke aspecten met behulp van een aantal voorbeelden aan te geven. De invulling van het "Hoe" ligt uiteraard in handen van het Onderwijs zelf, al wordt daaraan in dit artikel wel aandacht geschonken. Met enige afgunst wordt daarbij gekeken naar de activiteiten in het Verenigd Koninkrijk. Zoals is aangegeven, komt het EMC-onderwijs in ons land echter wel op gang.

Literatuur

1. "EMC, ook voor intense storingen", P.C.T. van der Laan, Technische Universiteit Eindhoven
2. "De EMC-kwaliteit van het elektriciteitsnet", G. Blom, Tijdschrift van het NERG, 56/1, blz.31, 1991
3. "EMC-eisen voor apparatuur met ISDN S- en T-interfaces", W.A. Pasmooij, Tijdschrift van het NERG, 56/1, blz.37, 1991
4. "EMC-aspecten van digitale schakelingen en devices", L.P. Janssen, Tijdschrift van het NERG, 56/2, 1991
5. "EMC-aspecten van automotive electronics", R. van Nuland, Volvo Car, Helmond
6. "High intensity radiated fields by aircraft", S.H.A. Peters, Tijdschrift van het NERG, wordt gepubliceerd.
7. "EMC-aspecten van de Radio-Astronomie", T.A.Th. Spoelstra, Tijdschrift van het NERG, 56/1, blz.41, 1991.
8. "Richtlijn van de Raad betreffende de onderlinge aanpassing van de wetgeving der Lid-Staten inzake elektromagnetische compatibiliteit, 89/336/ EEC, Publikatieblad van de Europese Gemeenschappen, Nr. L139, blz. 19-26, mei 1989.
9. "The requirements for the European Standards on Electromagnetic Compatibility", M.Vrolijk, Tijdschrift van het NERG, 56/1, blz. 47, 1991
10. "De Implementatie van de EMC-Richtlijn", C.L. Nijdam, Tijdschrift van het NERG, 56/1, blz. 51, 1991
11. "The implementation in the United Kingdom of Directive 89/336-/EEC on Electromagnetic Compatibility", Department of Trade and Industry (DTI), Radiocommunications Division, Consultative Document, November 1989.
12. "Enkele aspecten van 'Electrostatic Discharge' (ESD), J.J. Goedbloed, Tijdschrift van het NERG, deel 53, blz. 55-65, 1988.
13. "Characterization of transient and CW disturbances induced in telephone-subscriber lines", J.J. Goedbloed en W.A. Pasmooij, Proceedings Intern. EMC Symposium York, blz.211-218, Augustus 1990.
14. "Radiostoringsaspecten van standaarden voor digitale signaalbewerking", J.J. Goedbloed, I^2 Elektrotechniek/Elektronica, blz.53-57, September 1986.
15. "Richtlijn van de Raad betreffende de onderlinge aanpassing van de wetgevingen der Lid-Staten inzake radiostoringen, veroorzaakt door huishoudelijke elektrische apparaten, draagbaar gereedschap en soortgelijke apparatuur", Publikatieblad van de Europese Gemeenschappen, L222, 30 Juli 1982.
16. "Limits and methods of measurement of interference characteristics of information technology equipment", CENELEC, Europese Norm EN 50022.
17. "Kabelkeuze: een middel om EMC te bereiken?", M.J. Coenen, Electronica, 84/6 ,blz.39-45, Maart 1984.
18. "Verbetering van de HF-immuniteit van versterkers met tegenkoppeling", J.J. Goedbloed, K. Riemens en A.J. Stienstra, Electronica, 84/6, blz.65-71, Maart 1984.
19. "Demodulation RFI in inverting and non-inverting operational amplifier circuits", Y.-H. Sutu and J.J. Whalen, Proc. Intern. EMC Symp. Zurich, blz. 351-358, Maart 1985
20. "A University Postgraduate Course in EMC", N.G. Riley, M. Darnell, A.C. Marvin and J.Tealby, Proc. Intern. EMC Symp. York, blz. 240-242, Augustus 1990
21. "Electromagnetic Compatibility in high-voltage engineering", M.A. van Houten, Dissertatie Technische Universiteit Eindhoven, Oktober 1990.
22. "Shielding of wire segments and loops in electric circuits by spherical shells", D.Quak en A.T. de Hoop, Trans. IEEE on EMC, EMC 31, blz. 230-237, Augustus 1989.
23. "Elektromagnetische Compatibiliteit", J.J. Goedbloed, Kluwer, Deventer, 1990 (2e Oplage Voorjaar 1991).

Voordracht gehouden tijdens de 384e werkvergadering.



IR. F. VREESWIJK



IR. J. P. DE VRIES



ING. A. M. VELDERS



IR. H. T. NIJNUIS

NEDERLANDS ELEKTRONICA- EN RADIOGENOOTSCHAP
THE INSTITUTION OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS
BENELUX SECTION
AUDIO ENGINEERING SOCIETY
385e werkvergadering

UITNODIGING

voor de lezingendag op **donderdag 14 maart 1991,** in de **gehoorzaal** van het **Dr. Neher Laboratorium, Leidschendam.**
Thema: HDTV: een scherpe blik op de toekomst.

PROGRAMMA:

15.00 uur: Ontvangst, thee

15.15 - 16.00 uur: OP WEG NAAR HDTV;
IR. F. VREESWIJK, Philips Research

16.05 - 16.45 uur: HDTV VIA SATELLIET EN ETHER;
IR. J. P. DE VRIES, PTT Omroep en Televisie

16.50 - 17.35 uur: HDTV VIA COAX;
ING. A. M. VELDERS, Philips Nederland

17.45 - 19.00 uur: Koud buffet

19.00 - 19.45 uur: HDTV VIA GLASVEZEL;
IR. H. T. NIJNUIS, PTT Research

19.45 - 20.30 uur: Paneldiscussie

20.30 - 21.00 uur: Borrel.

Aanmelding voor deze dag dient te geschieden vóór 28 februari door middel van aangehechte kaart, gefrankeerd met een postzegel van 55 cent.
Leden van NERG, IEEE, AES en studenten hebben gratis toegang. De kosten van deelname voor niet-leden bedragen *f* 15,00.
De kosten voor het koud buffet zijn eveneens *f* 15,00.
Betalingen dienen vóór 28 februari te zijn ontvangen op girorekening 164515 t.n.v. penningmeester NERG, Postbus 39, 2260 AA LEIDSCHENDAM.
Aanname geschiedt in volgorde van binnenkomst.

Namens de samenwerkende verenigingen,
Dr. Ir. N. H. G. Baken
tel. 070 - 3326482

Leidschendam, februari 1991.

OP WEG NAAR HDTV

Ir. F.W.P. Vreeswijk
Philips Research Laboratories, Eindhoven

The European road towards HDTV

This paper gives an outline of the HDMAC system, which is the HDTV broadcast system to be used in Europe in the 12 GHz band for Direct Broadcast by Satellite.

It is designed to fulfil the compatibility requirement with the MAC/packet system in use in Europe. The coverage of the World Cup Football is shortly described and attention is paid to the Olympic Games, that will take place in France and Spain next year.

1. INLEIDING

Het Eureka 95 project is een Europees samenwerkingsproject, met als doel het ontwikkelen van een nieuw Televisie systeem, waarmee de consument, grotere en scherpere beelden, in zijn huiskamer te zien kan krijgen.
Deze nieuwe technologie wordt "High Definition Television" genoemd, ofwel vertaald in het Nederlands: Hoge Resolutie Televisie. De afkorting HDTV zal als algemene term gebruikt worden.

Het Eureka 95 project is gestart in 1986 en bevindt zich momenteel in haar tweede fase, welk tot einde 1992 loopt.

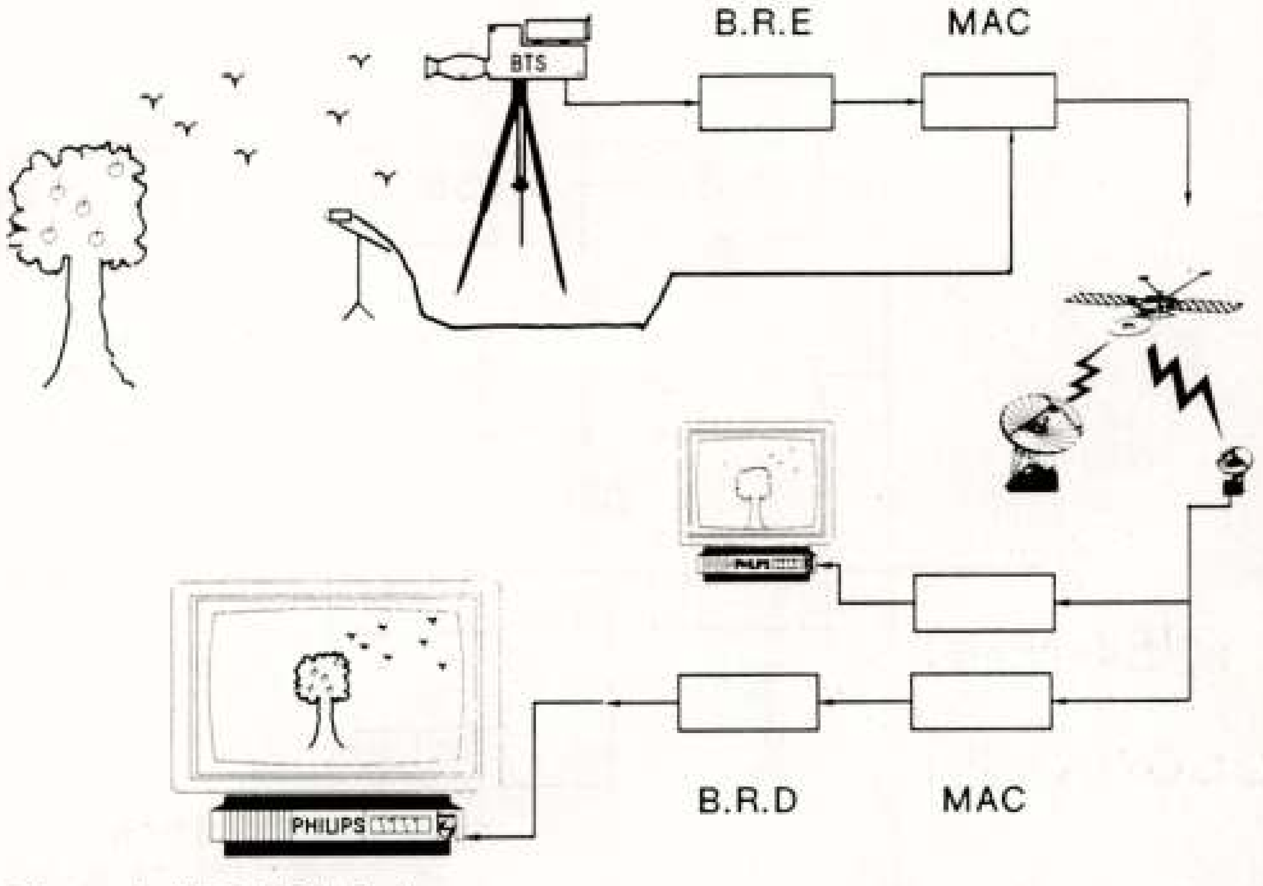
Het project wordt gedragen door circa 39 Europese partners, welke in tabel 1 staan vermeld.

A-participants	BOSCH PHILIPS NOKIA THOMSON CISAE		
B-participants	Agfa Angénieux AVS Barco BASF BBC British Telecom CCETT Colour Film Services Eutelsat FTZ Fuba	Grundig Heimann Heinrich-Hertz-Inst. IBA ITT Intermetall ITV Association Kudelski NOB Quantel RAI Rank Cintel Rohde & Schwarz	Schneider Seleco Selenia Spazio Siemens SGS-Thomson SFP STR Studio Hamburg Tech. Univ. Braunschweig Telettra Universität Dortmund

Tabel 1. EU95 Participants

Televisie is niet alleen een apparaat thuis in de huiskamer maar kan voorgesteld worden als een grote keten met vele schakels, waarvan de huiskamerontvanger en video cassette recorder slechts twee schakels zijn.

In figuur 1 ziet U een schematische voorstelling van een complete HDTV keten: Het begint met een opname van een scene d.m.v. van HDTV Videocamera en microfoon. Deze opname geschiedt meestal in een studio of buiten bij een rapportage van een belangrijk evenement. Dit signaal wordt dan via een satelliet overgezonden naar een groot deel van Europa. Voor directe satelliet omroep (DBS) is in de 12 GHz band in de jaren 82-86 een nieuwe TV standaard vastgesteld: de MAC/packet family. Bij het begin van het Eureka project is men uitgegaan van het principe, dat de HDTV omroep volledig terugwaarts compatibel met deze nieuwe norm moet zijn. Dit betekent, dat bij het uitzenden van een HDTV signaal, de bestaande



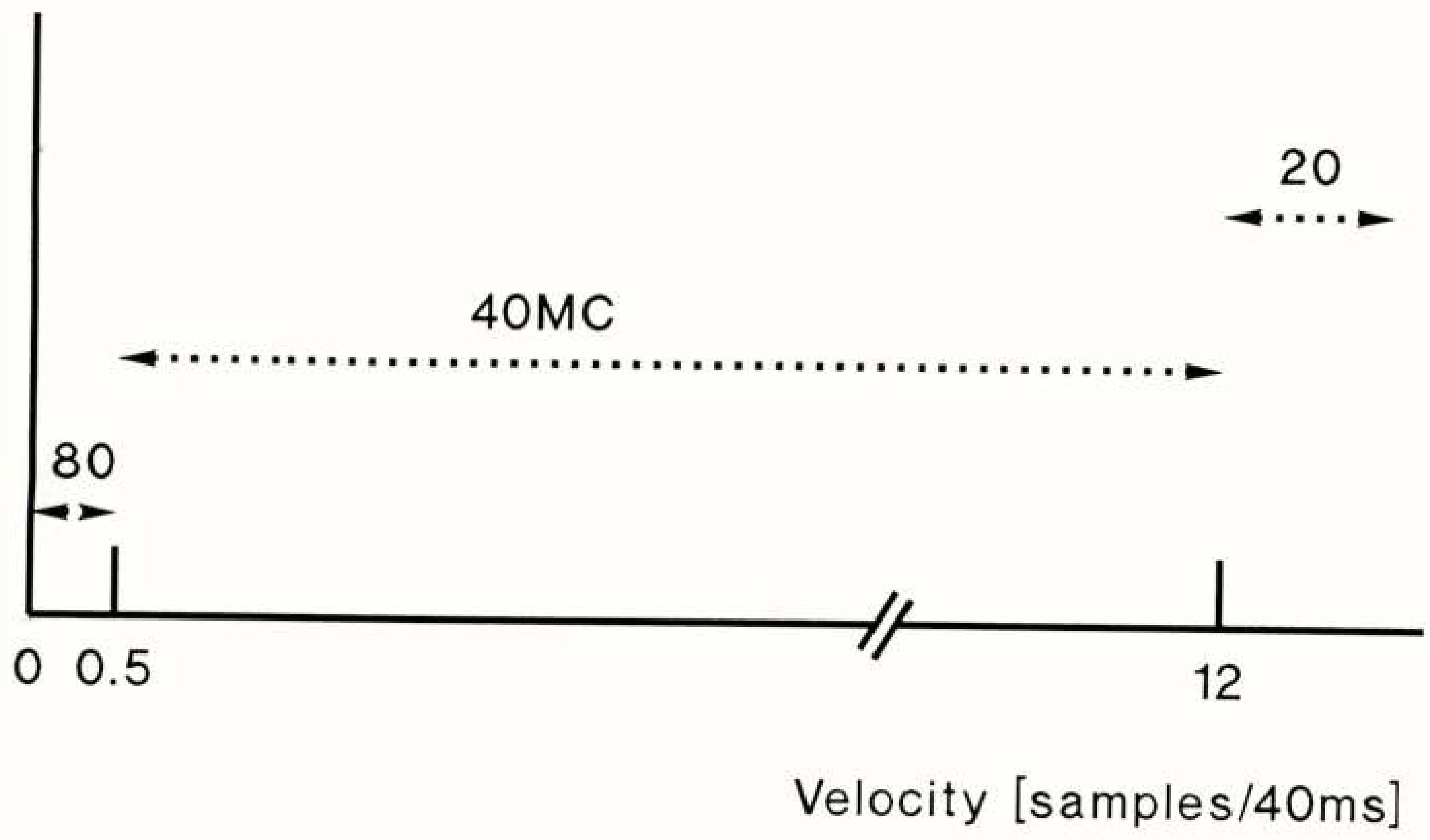
Figuur 1. HDMAC chain.

satelliet ontvangers, volgens de MAC norm, dit signaal rechtstreeks moeten kunnen ontvangen, zonder conversie apparatuur. Deze HDTV variant van de MAC norm wordt dan ook HDMAC genoemd van 'High Definition MAC'. De MAC norm wordt voor het verdere verloop van dit verhaal bekend verondersteld.

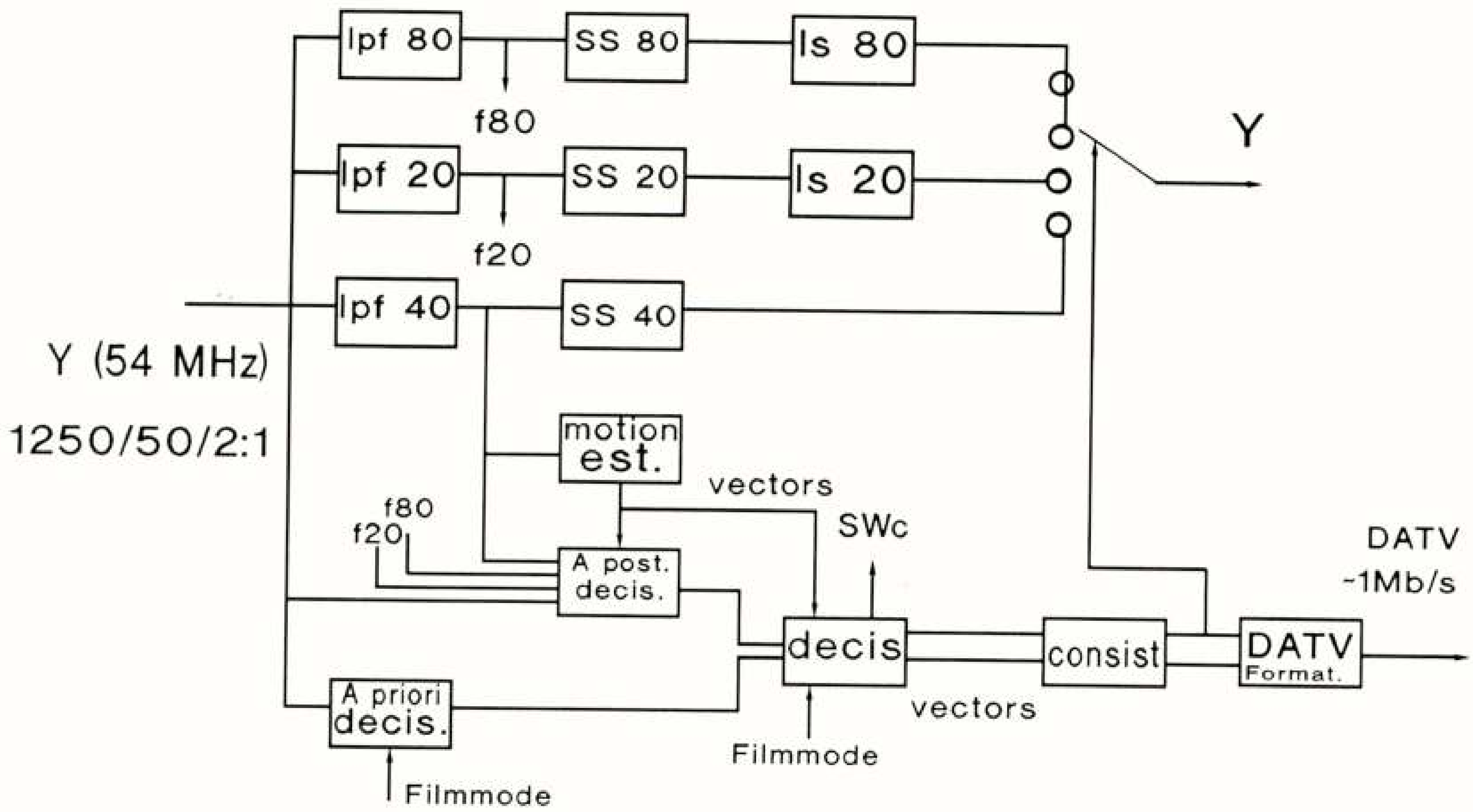
Het HDTV signaal heeft een bandbreedte, welke ca. 4 keer groter is, dan het satellietkanaal. Daartoe moet er een bandbreedte reductie plaatsvinden met een factor 4. In de HDTV ontvanger zit een bandbreedte reductie decoder (BRD), welke deze reductie weer teniet doet en het HDTV beeld reconstrueert.

In de camera wordt het beeld verticaal met 1250 lijnen afgetast in verticale richting; dit zijn twee keer meer lijnen, dan in een standaard 625 lijnen camera. Deze factor twee staat ons toe om de beoogde compatibiliteit eenvoudig te verkrijgen; hetgeen met een ander lijnenaantal niet zou lukken. Ook de horizontale bandbreedte is een factor 2 toegenomen en verder is de breedte-hoogte verhouding van het beeld toegenomen van 4:3 naar 16:9. Dit betekent een 33% breder beeld, meer gelijkend op een bioscoopfilm. Verder worden er 50 beelden per seconde gescanned met een interlace factor 2, hetgeen gelijk is aan het huidige systeem.

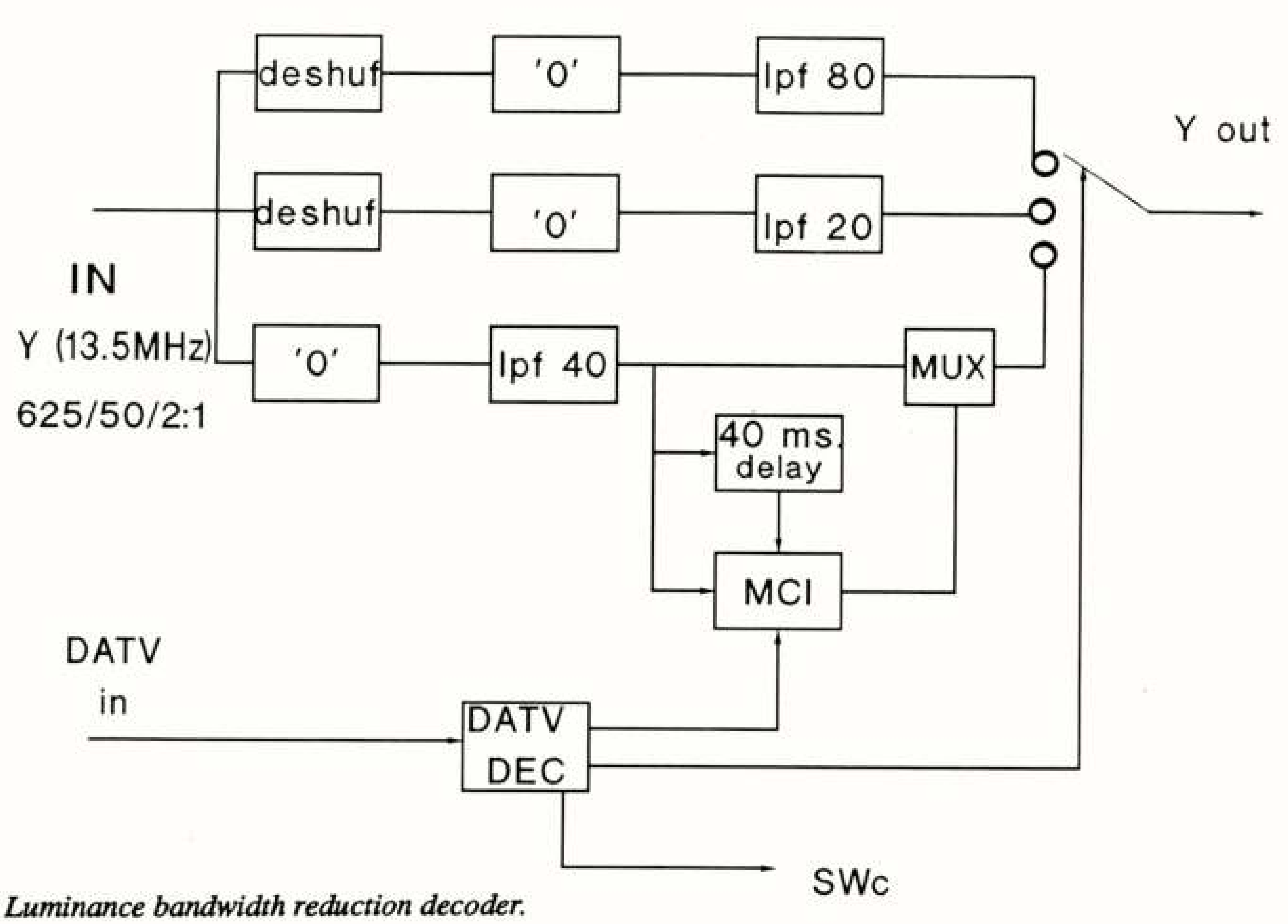
Het codeer/decodeer principe van HDMAC is uitgegaan van de veronderstelling, dat dure en moeilijke bewerkingen zo veel mogelijk aan de zenderkant dienen te geschieden, en dat de ontvangst kant zo eenvoudig mogelijk moet worden gehouden. Immers er zijn miljoenen decoders nodig en slechts een handvol encoders. Deze mogen dus wel wat duurder zijn. Om dit te bereiken geeft de encoder naast een gecomprimeerd video signaal ook een digitaal hulpsignaal af, dat met het videosignaal mee gestuurd wordt in



Figuur 2. HDMAC coding modes.



Figuur 3. Luminance bandwidth reduction encoder.



Figuur 4. Luminance bandwidth reduction decoder.

de verticale blanking. Dit hulpsignaal wordt DATV signaal genoemd van 'Digitally Assisted Television" ookwel kortweg DA-signal genoemd. Naast een belangrijk kostenvoordeel geeft dit codeerprincipe ook een 'performance'-voordeel, aangezien complexe bewerkingen in de studio op schonere signalen kunnen worden uitgevoerd dan in de ontvanger. Immers er heeft geen transmissie plaatsgevonden, hetgeen aanleiding geeft tot ruis en vervorming. De maximale bit rate van het DA-signaal is ca. 1 Mb/s.

Na twee jaar studeren en simuleren zijn de grond principes van het HDMAC algoritme vastgelegd [1 . . 10]
Hierna is het systeem in hardware gebouwd en voor het eerst op de IFA '89 gedemonstreerd. Hierna zijn er uitgebreide fieldtests geweest, zie hiervoor hoofdstuk 3. Deze tests en verdere demo's hebben geleid tot een volledig operationeel systeem, waaraan vele Europese partners bijgedragen hebben, en waarmee de wereldkampioenschappen voetbal in Rome in Juni 1990 verslagen zijn.

2. HET HDMAC SYSTEEM

2.1 Spatiële en Temporele Sub-Nyquist sampling

De doelstelling van het reduceren van de bandbreedte met een factor vier wordt bereikt door middel van "Spatiële en Temporele Sub-Nyquist sampling", afhankelijk van de beeldinhoud. Het systeem gebruikt drie verschillende modi, die gekoppeld zijn aan drie snelheidsintervallen. In elk deelbeeld van 16 beeldpunten bij 16 beeldlijnen wordt de snelheid geschat m.b.v. een bewegingsschatter. De drie intervallen zijn gegeven in figuur 2. Het eerste interval loopt van stilstand tot een snelheid van circa 0.5 beeldpunt per 40 ms. Het tweede interval loopt van circa 0.5 - 12 beeldpunten per 20 ms en het derde interval is voor snelheden groter dan 12 beeldpunten per 40 ms.

Aan elk interval is een'refresh rate' verbonden, dit is het aantal bewegingsfasen per seconden. In standaard televisie is de refresh rate constant en bedraagt altijd 50 fasen per seconde. Het codeer algoritme zal het beeld opdelen in blokken van 16 beeldpunten bij 16 lijnen en zal een van de drie modi daaraan toekennen. Voor zeer snelle bewegingen zal men er prijs opstellen, dat de beweging goed gereproduceerd wordt: dan worden dus 50 fasen ook overgezonden; deze mode heet de 20 ms. mode.
Voor niet te snelle bewegingen zal men kunnen volstaan met 25 bewegingsfasen en men heeft daar dan 40 ms de tijd voor.
Voor stilstaande of zeer langzame bewegingen worden 12.5 bewegingfasen per seconde gebruikt; nu duurt één beweginsfase 80 ms.

Zowel de encoder als de decoder heeft drie video codeer takken, welke in figuur 3 en 4 te zien zijn.
Deze drie takken hebben elk een eigen spatieel-temporeel subsample schema, die in figuur 5 getoond worden.
De stationaire 80 ms mode heeft een spatieel subsample schema, dat een beeldlijn- quincunx patroon heet. Deze mode levert de hoogste spatiële resolutie, zoals uit figuur 6 afgeleid kan worden. Figuur 6 toont de spatiële frequentie curven van de drie modi. De 40 ms mode werkt met een rasterlijn quincunx patroon en de 20 ms mode werkt ook met een rasterlijn patroon, maar met gereduceerde horizontale resolutie.

De selectie van de drie modi geschiedt op blokbasis, vanwege de beperkte DA datacapaciteit. Na subsamplen wordt elk lijnpaar van het 1250 lijnen signaal met elk 32s lijntijd omgezet in een gecombineerde lijn met 64 s lijntijd. Zie figuur 7. Zo ontstaan uit 1250 lijnen 625 lijnen, welke in het MAC formaat omgezet kunnen worden. Deze techniek wordt "line shuffling" genoemd. Deze 'line shuffling' techniek is slechts actief in de 80 en 20 ms modi.

De 40 ms mode is een bewegingsgecompenseerde mode ofwel een "motion compensated mode". De 25 bewegingsfasen, die per seconde uitgezonden worden, zijn niet genoeg om op een groot scherm ook de beweging zonder schokken te reproduceren. Daarom wordt het aantal bewegingsfasen per seconde verhoogd tot 50 d.m.v. bewegingsgecompenseerde interpolatie. Dit is een temporele interpolatie vanuit de twee omliggende rasters in de richting van de beweging. Hiertoe wordt per blok een vector in het DA-signaal naar de ontvanger gestuurd. Het principe van deze bewegingsgecompenseerde interpolatie wordt in figuur 8 getoond.

In de decoder worden de reciproke bewerkingen uitgevoerd, eerst een deshuffling, daarna een 'zero-stuffing' en hierna een interpolatie. Elke mode gebruikt een niet-lineaire interpolator met een karakteristiek, die overeenkomt met de spatiële frequentie karakteristieken van figuur 6.
Zie ook figuur 4 van het geheugenelement, waarin het raster opgeslagen wordt, dat nodig is voor het reconstrueren van de 50 bewegingsfasen door middel van de bewegingscompensatie.

2.2 De bewegingsafhankelijke codeerbeslissingen

In de encoder wordt een bewegingsschatter gebruikt volgens het 'Block Matching Algoritme'. Voor elk blok in het beeld wordt een verplaatsings vector D gevonden. Het zoekgebied is 13 lijnen bij 13 samples. Dit resulteert in een maximale verplaatsing van +/– 6 samples per 20 ms. of +/– 12 samples /40 ms. In verband met het beperken van het aantal operaties, is gekozen voor een drie-staps zoekprocedure, bekend uit de literatuur, in alleen de oneven frames. Een vierde stap is toegevoegd, waarin een controle met de resultaten van de buurblokken plaatsvindt. Een kosten-waarde wordt dan berekend voor elk blok, uitgaande van de RMS waarde van alle samples in dat blok. Deze vierde stap vergroot met name de uniformiteit van het resulterende vectorveld. In de even beelden bestaat het schatten van de beweging uit het testen van de acht nabuur vectoren en de eigen vector van het vorige beeld voor het onderhavige blok. De beste vector in termen van de RMS waarde wordt dan geselecteerd.

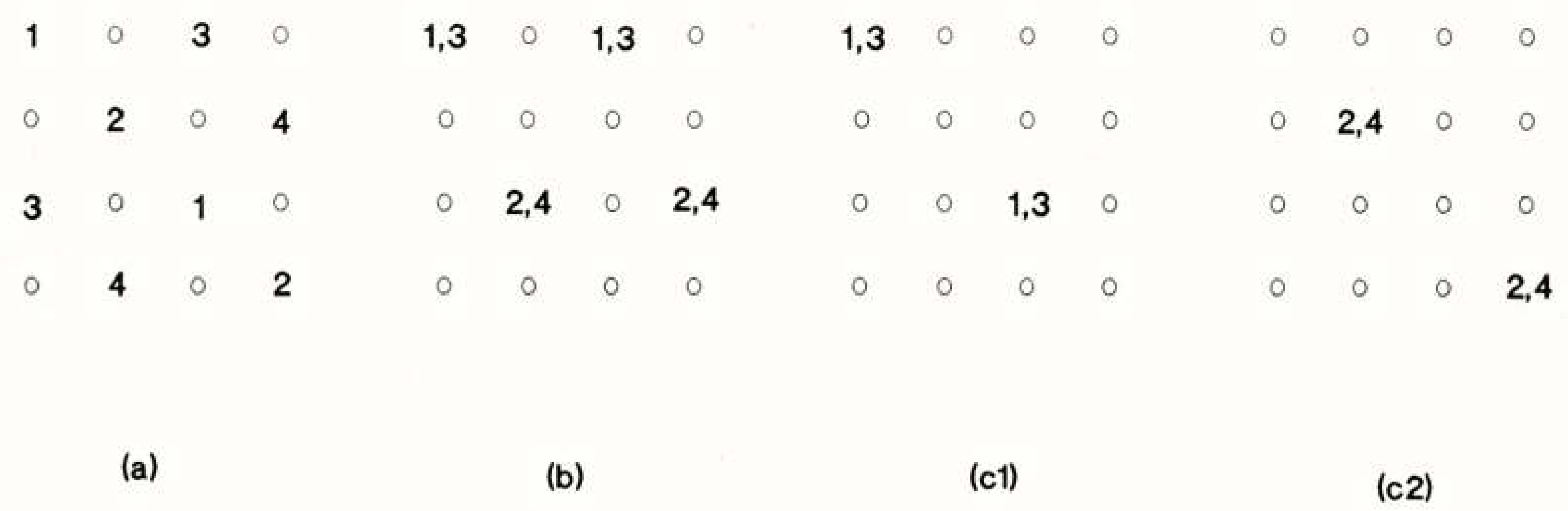
In de encoder worden de vectoren dan gecontroleerd door een 'a posteriori' vergelijking van het originele referentie beeld met de 40 ms. mode, na interpolatie m.b.v. de gekozen vector. Verder worden ook de 80 ms mode en de 20 ms mode met het referentie beeld vergeleken. Uiteindelijk wordt de mode met het kleinste verschil gekozen voor dat blok.

Een 'a posteriori' beslissing in een multi-mode systeem kan dubbelzinnig zijn, aangezien zowel de temporele als de spatiële karakteristieken van de modi verschillend zijn. Daarnaast kan de BMA schatter één van de maximale vectoren als beste schatting afgeven, maar hoeft dit niet de juiste te zijn; deze kan nl. net buiten zijn zoekgebied liggen. Om deze problemen te voorkomen wordt er in de HDMAC encoder ook nog een 'a priori' beslissing genomen, welke een beslissing voor een 40 ms mode in sommige gevallen omzet in een 20 ms beslissing. Deze 'a priori' beslissing wordt door een speciaal ontworpen bewegingsdetector afgegeven, welke precies op een snelheid van 12 samples/40 ms is afgesteld.

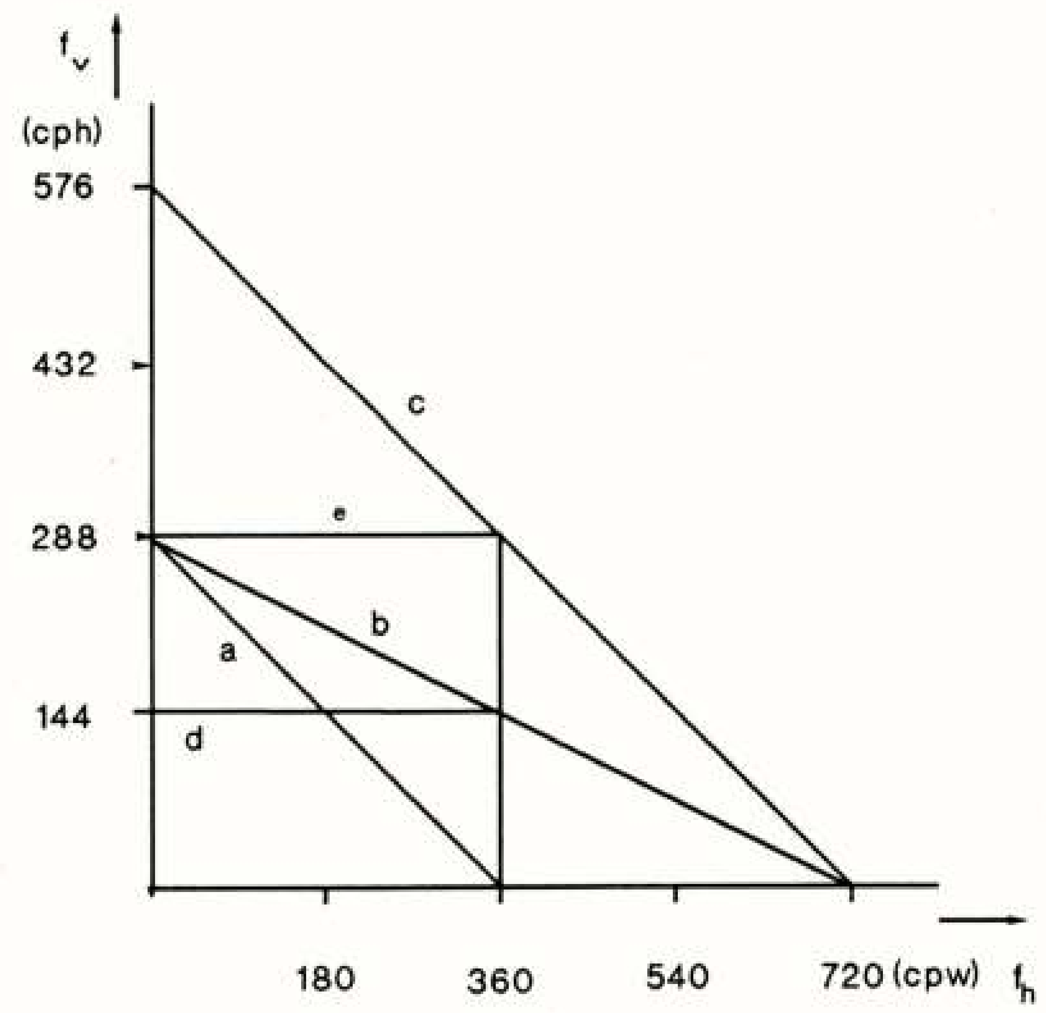
Na combinering van de 'a posteriori' en 'a priori' beslissingen volgt nog een consistentie schakeling, welke zowel in het spatiële als temporele domein werkzaam is. Dit leidt tot meer uniforme beslissingen.

2.3 'Digitally Assisted Data' codering

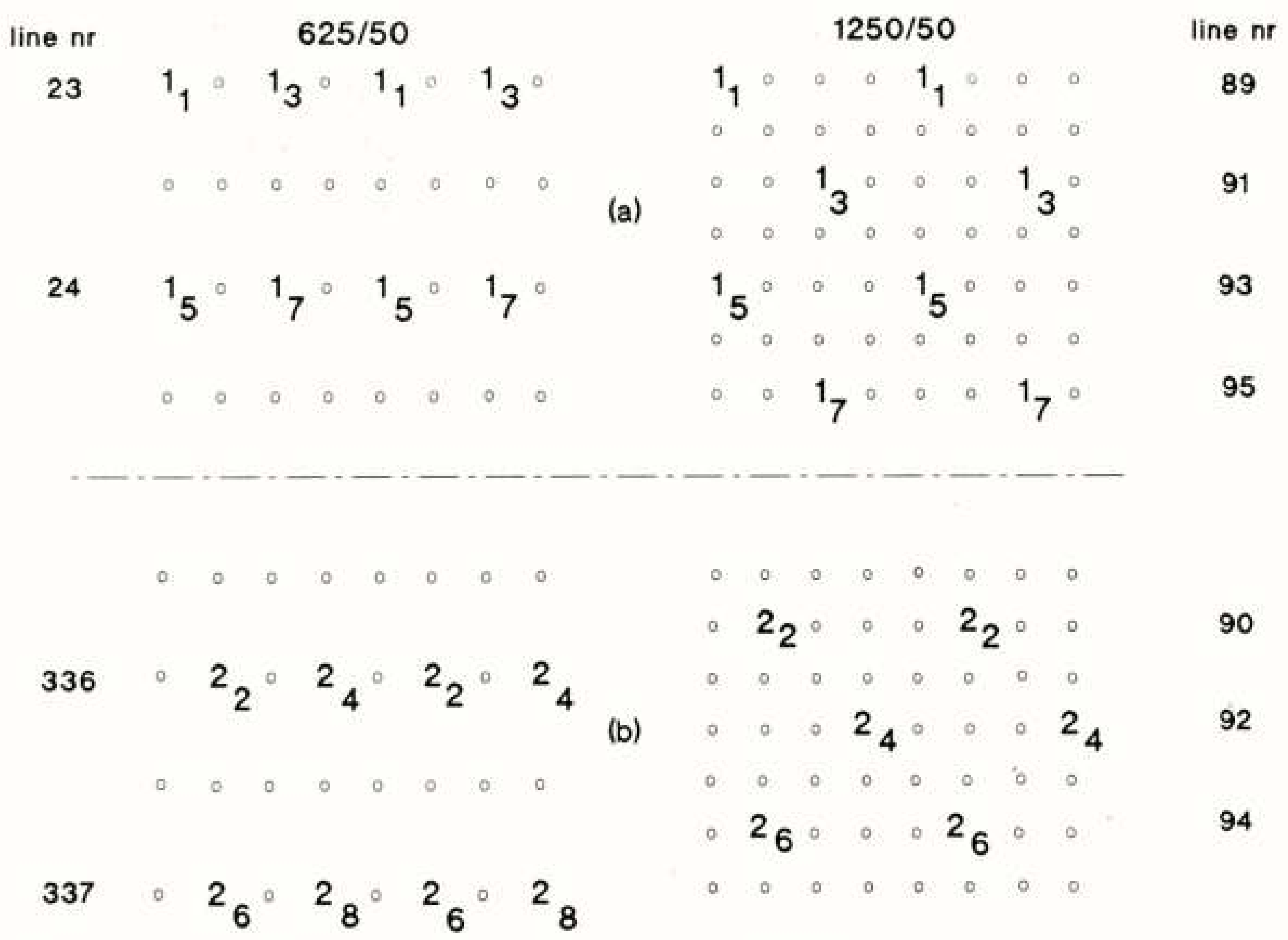
Per 80 ms basis interval kan het schakelsignaal voor de modi zich slechts in vijf temporele toestanden bevinden. Deze beperking komt voort uit de overweging, dat het niet zinvol is aan een subsampling volgens bijv. de 80 ms mode te beginnen en deze niet af te maken door halverwege naar een



Figuur 5. Luminance subsampling patterns on 1250/50/2 sampling grid with 54 MHz sampling frequency:
(a) 80 ms subsampling pattern
(b) 40 ms subsampling pattern
(c1) 20 ms subsampling pattern for odd fields
(c2) 20 ms subsampling pattern for even fields.



Figuur 6. The transmissable range of the luminance spatial frequency spectrum
(a) 20 ms mode
(b) 40 ms mode
(c) 80 ms mode
(d) MAC 1 field
(e) MAC 2 fields.



Figuur 7. Luminance deshuffling in the 20 and 80 ms modes (2 fields only).

andere mode te schakelen. Dit zou erg zichtbare vervorming tot gevolg hebben. De vijf mogelijke toestanden staan in Tabel 1. In de 40 ms mode vindt een vector allocatie plaats om de bit rate te beperken. In elk eerste beeld van een 80 ms periode worden alle 169 vectoren toegestaan; echter in het tweede beeld wordt per blok de beste vector gekozen uit de vector van dat blok in het vorige beeld en uit de vectoren van de nabuurblokken uit het vorige beeld. Als geen passende vector gevonden kan worden, wordt het blok in de 20 ms mode gezonden. Hierdoor resulteert het aantal mogelijkheden van Tabel 2.

Raster:	1	2	3	4	Mogelijkheden
Toestand 1	80	80	80	80	1
Toestand 2	40	40	40	40	168 * 9
Toestand 3	40	40	20	20	169
Toestand 4	20	20	40	40	8
Toestand 5	20	20	20	20	1
					1700

Tabel 2.

Totaal zijn er 1700 mogelijkheden per 80 ms periode voor een blok. Dit aantal kan met 11 bit gecodeerd worden. Er zijn 6480 blokken per 80 ms periode; ergo, de bit rate is 891 kb/s.

2.4 Bandbreedtereductie voor de kleurverschilsignalen

De kleurverschilsignalen worden op dezelfde manier in bandbreedte gereduceerd als het helderheidssignaal. De encoder en decoder bevatten dezelfde functionele blokken voor de kleurverschilsignalen. Figuur 9 toont de spatiële frequentie karakteristieken. Vanwege de 4:2:2 verhouding tussen luminantie en chrominantie en de lijn sequentiële kleuroverdracht van het MAC systeem zijn zowel de horizontale als de verticale samplefrequenties beide gehalveerd. De subsample patronen worden in figuur 10 gegeven. De kleurverschilsignalen vereisen geen additionele data, aangezien de modebeslissingen in de 80 en 20 mode per definitie dezelfde zijn. In geval van een 40 ms beslissing wordt ook een 40 ms beslissing voor kleur genomen, indien de grootte van de vector kleiner of gelijk aan 6 samples/40 ms is. Voor grotere vectoren wordt de 20 ms mode gebruikt.

2.5 Compatibiliteitsverbeteringen

In beeldvlakken, die via de 80 ms mode worden overgedragen, kunnen bij de compatibele MAC ontvanger op steile overgangen onrustige golfpatronen zichtbaar worden ('edge crawl'). Dit artefact heeft een 12.5 Hz periodiciteit. Om dit effect te minimaliseren wordt een verticaal laag-doorlaat filter in de encoder en een reciprook hoog-ophaal filter in de decoder ingeschakeld. Hierdoor wordt de onrust in het compatibele MAC beeld verminderd. Dit laagdoorlaat filter heeft een maximale demping van 6 dB op de halve samplefrequentie.

Een tweede verbetering ten behoeve van de compatibele ontvanger is bedoeld om de 25 Hz schokkerigheid in de 40 ms mode grotendeels te compenseren. Aangezien er twee transmissie rasters uit hetzelfde raster van het camerasignaal worden afgeleid, ontstaat hierdoor de schokkerigheid. De verbetering wordt bereikt door een temporele voorfiltering per blok in de richting van de bewegingsvector.

3. HDTV PRODUCTIES

Er wordt binnen het Eureka 95 project veel aandacht besteed aan demonstraties en het maken van HDTV producties. In tabel 3 wordt een overzicht

Programme title	Producer	Country
Un Bel di Vedremo	RAI	Italy
The Complete Picture	BBC	United Kingdom
Changing the Guard	BBC	United Kingdom
Steam Engines	ITVA	United Kingdom
Paris - Musee D'Orsay	BBC	United Kingdom
Paris - Notre Dame	BBC	United Kingdom
Kew Gardens	BBC	United Kingdom
Maastricht	NOB	Netherlands
1250 lines, qui dit mieux	SFP	France
FA Cup Final	BBC	United Kingdom
Wimbledon tennis	BBC	United Kingdom
Circus Knie	NDR	Germany
Puppet Theatre	ORF	Austria
Gulbenkian Ballet	RTP	Portugal
Full House	NDR	Germany
VARA HDTV	VARA	Netherlands
Gorbachov in Bonn	NDR	Germany
European Summit in Madrid	RTVE	Spain
Bicentennial in Paris	IHD	France
HE in Berlin	SFP	France

Tabel 3. HDTV produkties.

gegeven van de belangrijkste HDTV producties tot nu toe. Ten behoeve van het maken van producties is een "economic interest grouping" VISION 1250 opgericht, welke apparatuur, zoals rapportage wagens, editing wagens etc, en personeel ter beschikking stelt aan de Eureka 95 leden.

Eureka 95 heeft steeds demonstraties gegeven. OP de TV symposia en tentoonstelling zoals o.a. de belangrijkste: IBC 88, IBC 90, Montreux 87, Montreux 89 en IFA 89.

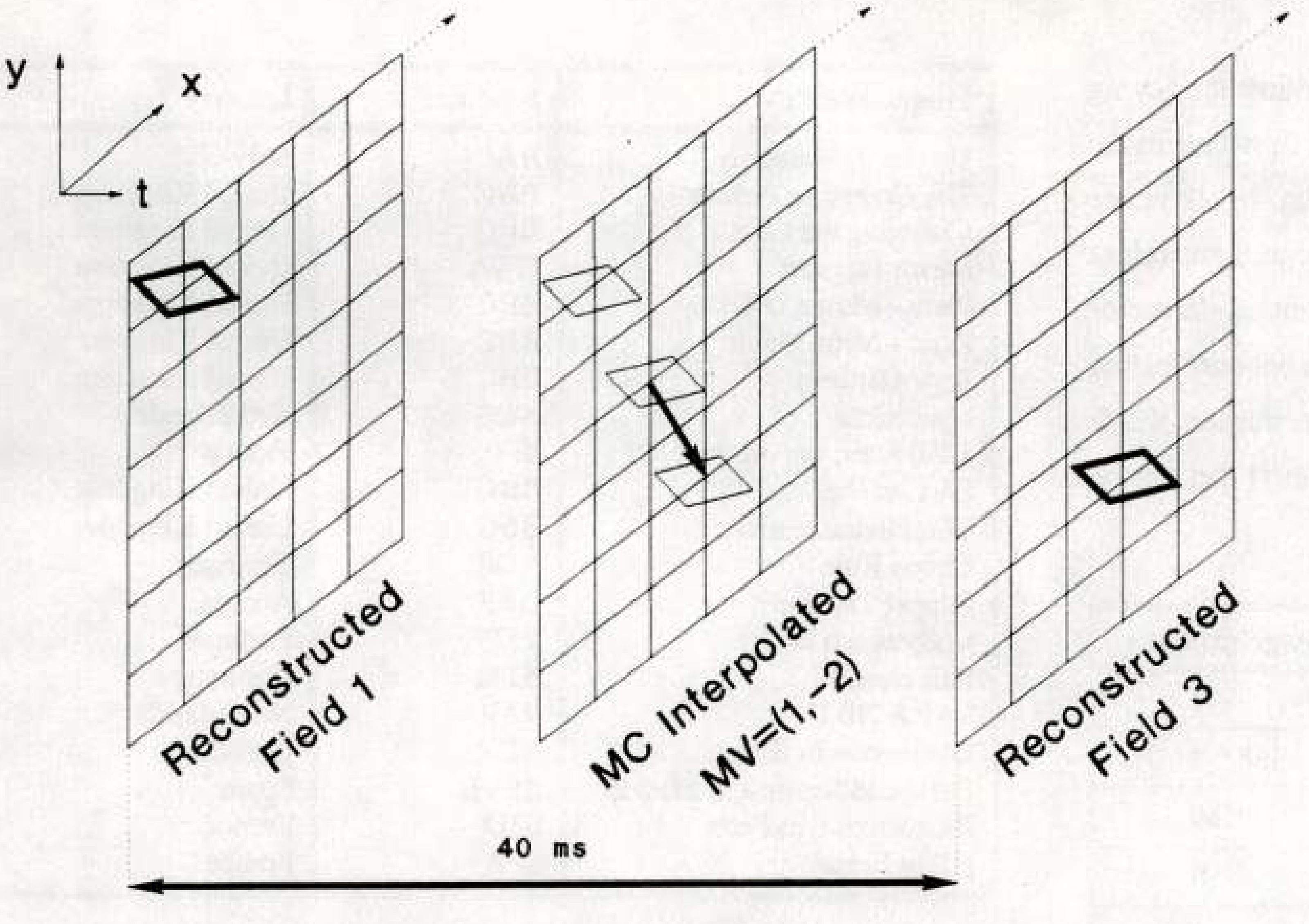
Verder is het wereldkampioenschap voetbal in juni vorig jaar 'live' verslagen en in diverse Europese steden vertoond. Figuur 11 geeft schematisch de transmissieweg weer.

Respectievelijk eind dit jaar en volgend jaar vinden de Olympische Winter- en Zomerspelen plaats. Deze spelen zullen door de Eureka 95 leden verslagen worden d.m.v. 'live'-uitzendingen in HDMAC. Hiertoe zullen er honderden HDMAC ontvangers door West-Europa uitgezet worden, om het publiek in staat te stellen deze belangrijke gebeurtenis in de nieuwe HDMAC norm te zien.

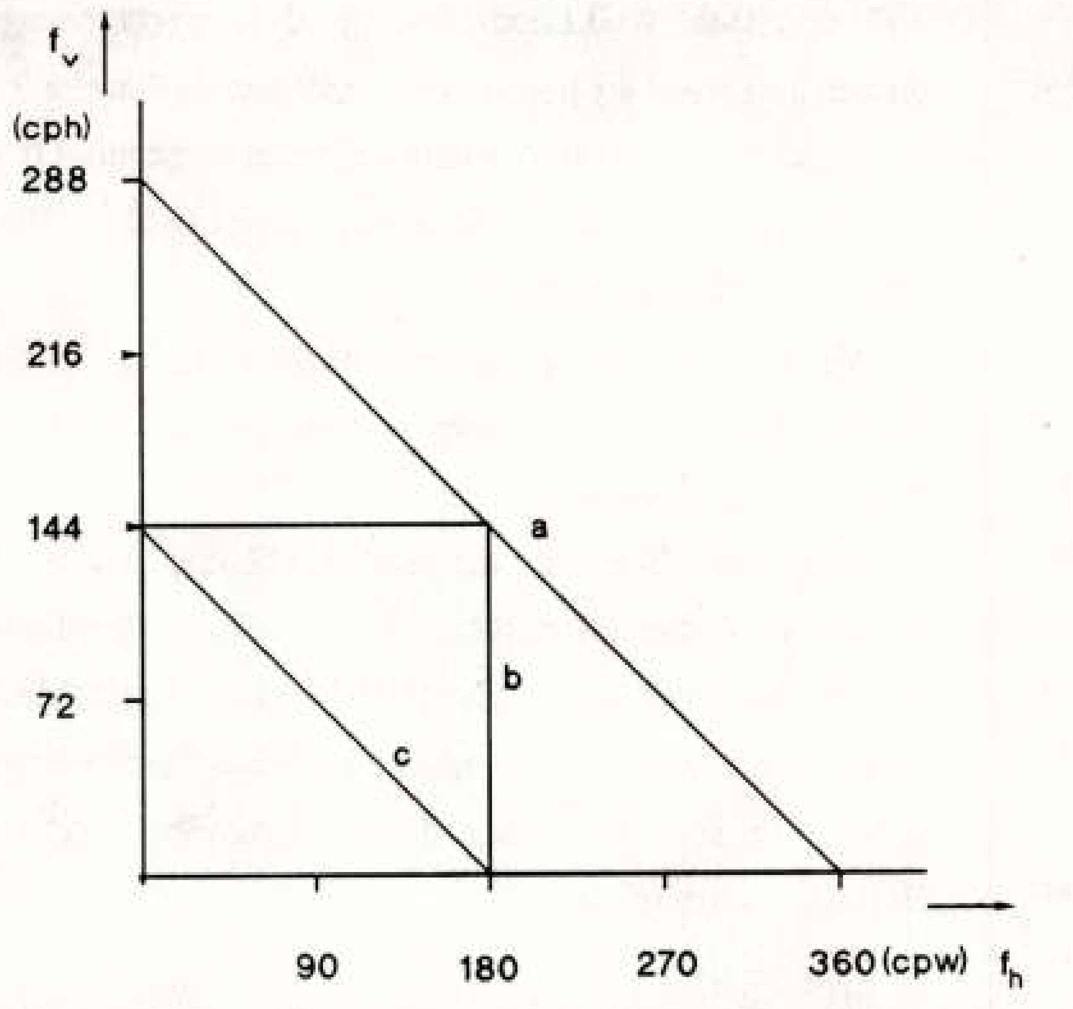
4. CONCLUSIES

In dit artikel wordt het HDMAC systeem uitgelegd. Het HDMAC systeem heeft drie modi (een 80 ms, 40 ms en een 20 ms mode) met bewegingscompensatie in de 40 ms mode. Het systeem staat een zeer goed compromis toe tussen HDTV kwaliteit en compatibele kwaliteit. Dankzij de 'line shuffling' operatie is het systeem beter opgewassen tegen intersymbool interferentie. Het gebruik van een data signaal staat toe, dat de decoder een echte 'slaaf' is van de encoder. Dit heeft de volgende voordelen:

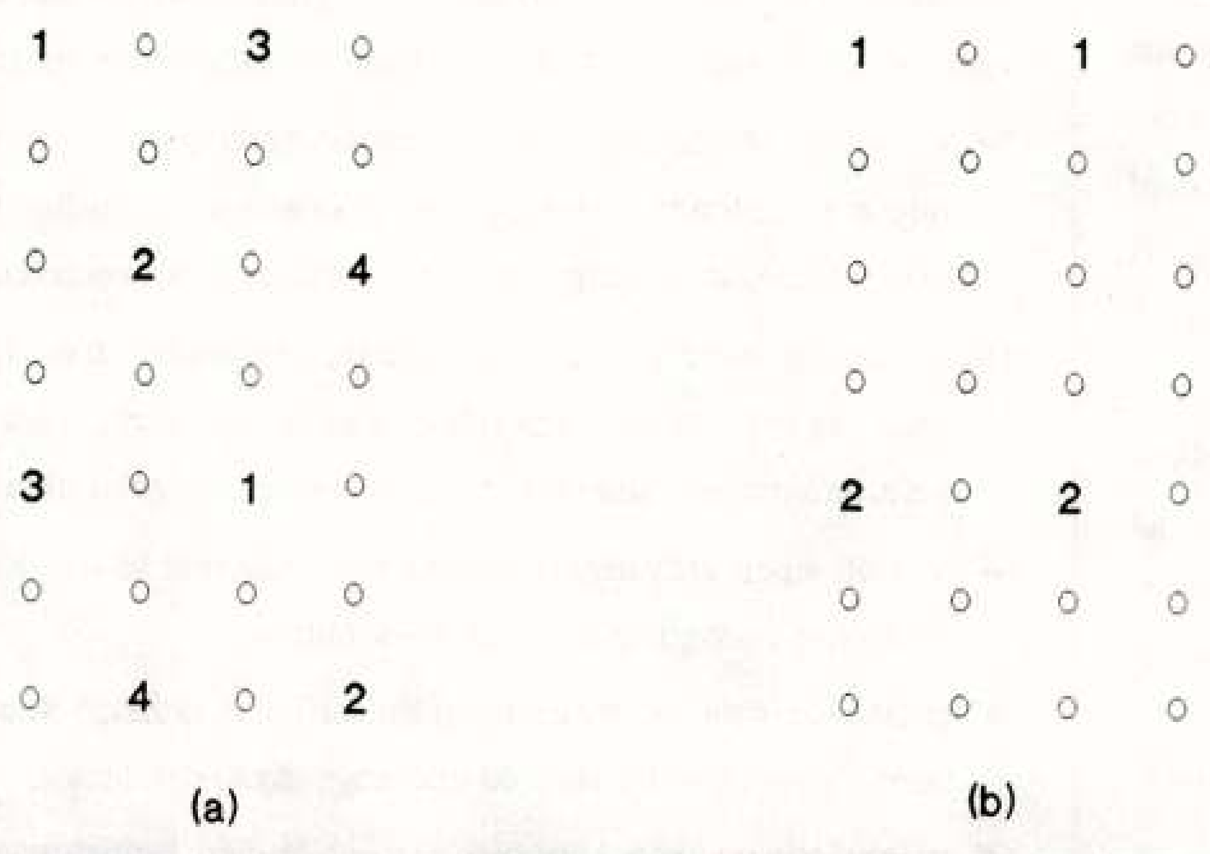
- ☞ moeilijke bewerkingen, zoals bewegingsdetectie en bewegingsschatting geschieden in de encoder (ter plaatse van de studio), waar kwaliteit van het hoogste belang is en niet de kostprijs van een encoder;
- ☞ bewegingsdetectie en bewegingsschatting gebeuren daar, waar de kwaliteit van het signaal het best is en niet na ontvangst, waar met transmissie artefacten als ruis en vervorming rekening gehouden moet worden;
- ☞ de miljoenen ontvangers hoeven niet uitgerust te worden met dure en complexe bewegingsdetectie en -schatting;
- ☞ er hoeven geen voorzieningen getroffen te worden voor een 'veilige band ('guard band') voor de ontvangerzijdige detector;
- ☞ en tenslotte maakt het concept van een digitaal hulpsignaal het mogelijk toekomstige verbeteringen op het gebied van bewegingsbeslissingen om te zetten in een nog betere HDTV kwaliteit voor de consument.



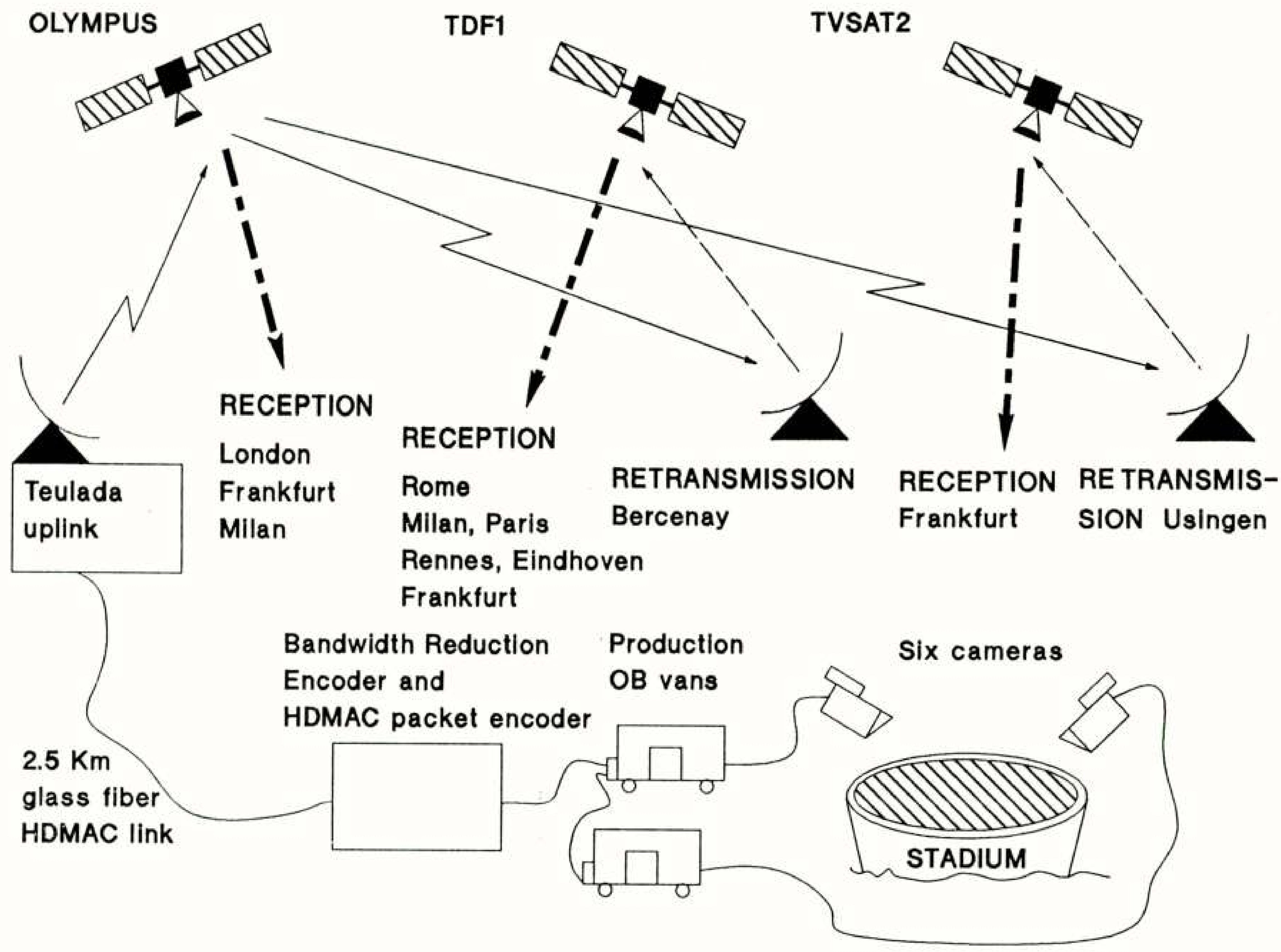
Figuur 8. The principle of motion compensated interpolation.



Figuur 9. The transmissable range of the colour difference spatial frequency spectrum:
(a) 80 ms mode
(b) 40 ms mode
(c) 20 ms mode.



Figuur 10. Chrominance subsampling patterns on 1250/50/2 sampling grid with 27 MHz sampling frequency:
(a) 80 & 20 ms subsampling pattern
(b) 40 ms subsampling pattern.



Figuur 11. Blokschema van de transmissieweg van de Wereldkampioenschappen voetbal te Rome, 1990.

Zoals mede blijkt uit de uitgebreide fieldtests, de demonstraties op de belangrijkste symposia en tentoonstellingen en de reeds uitgebreide lijst van producties, is het Eureka 95 project erin geslaagd niet alleen om technisch een nieuwe HDTV norm te definiëren, maar ook om deze in apparatuur en producties te realiseren.

De afsluiting van de 2e fase van het Eureka 95 project zal in 1992 plaatsvinden middels het op grote schaal verslaan van de Olympische Winterspelen in Frankrijk en de Olympische Zomerspelen in Barcelona, Spanje.

REFERENTIES

1. HDMAC Coding of High Definition Television signals" - F.W.P. Vreeswijk, F. Fonsalas, T.I.P. Trew, C. Carey-Smith, M. Haghiri, International Broadcasting Convention-1988 at Brighton, U.K., 23-28 September 1988.
2. "HDMAC Coding for Broadcasting of High Definition Television signals" - F.W.P. Vreeswijk
   Contribution to the Club de Rennes'Young Researchers Seminar at M.I.T. Cambridge, Mass., U.S.A., October 1988.
3. "HDMAC Coding for Compatible Broadcasting of High Definition Television signals"
   F.W.P. Vreeswijk, M. Haghiri
   International TV Symposium, Montreux, Switzerland, 17-22 June 1989.
4. "HDMAC Coding for Compatible Bandwidth Reduction of High Definition Television Signals"
   M. Haghiri, F.W.P. Vreeswijk
   ICCE '89, Chicago, June 1989
5. "HDMAC Coding for Compatible Broadcasting of HDTV signals"
   F.W.P. Vreeswijk, M. Haghiri
   Third International Workshop on HDTV at Turino, Italy, September 1989.
6. "HDMAC Coding for Compatible bandwidth reduction of High Definition Television Signals"
   F.W.P. Vreeswijk
   ITUCOM 89 Technical Symposium, October 1989
7. "The Present State of High Definition Television and its impact on Solid State Circuits"
   F.W.P. Vreeswijk
   Invited paper at the IEEE Internatinal Solid State Circuit Conference, at San Francisco, U.S.A., February 1990.
8. "HDMAC Coding for Compatible Broadcasting of High Definition Television signals"
   F.W.P. Vreeswijk, M. Haghiri
   IEEE Transactions on Broadcasting, Vol.36, No.4, December 1990, p. 284-288
9. "Le système de codage HD-MAC"
   F.W.P. Vreeswijk, M. Haghiri
   Enjeux, Édition AFNOR, No. 111, Novembre 1990 (ISSN 0223-4866), p. 46-50
10. "HDMAC, The European HDTV Broadcasting System" (in Japanese)
   F.W.P. Vreeswijk
   Nikkei Electronics 1990.11.12, no. 513, p. 195-206, Japan

Voordracht gehouden tijdens de 385e Werkvergadering.

NEDERLANDSE TITEL: HET UITZENDEN VAN HDTV
PER SATELLIETEN MET AARDSE ZENDERS

IR. J.P DE VRIES
Hoofdafdeling Omroep en Televisie
PTT Telecom

HDTV emission by satellite and with terrestrial transmitters First of all general aspects regarding broadcasting satellites will be dealth with, a description of the WARC 77 plan is presented. It will be clarified why this plan does not fit well into the present situation in Europe.
This situation where DBS and medium-power satellites are used for TV emission is described.
The technical requirements for HD-MAC emission are presented. The matching of these requirements with the now available satellite capacity shows what new possibilities are needed at what time for satellite broadcasting. Plans to cater for this need (pre-Europesat, Europesat and ASTRA) are described.

In Europe digital wide RF-band HDTV by satellite is considered to be the next step, following HD-MAC. The developments in this area (bit-rate reduction of the HDTV-signal and digital modulation techniques) will be globally reviewed.

Furthermore HDTV emission by terrestrial transmitters is mentioned. The approach for the USA, planned by the FCC (simulcasting) is discussed:

Finally a short comparison of the European, N-American and Japanese approaches regarding HDTV emission is presented.

1. INTRODUCTIE

Allereerst wordt ingegaan op algemene technische aspecten m.b.t. Omroepsatellieten.
Na een korte beschrijving ervan wordt aangegeven in welke opzichten het WARC 77-plan nu minder goed past in de huidige situatie.
De huidige situatie met het naast elkaar bestaan van DBS en medium-power-satellieten wordt beschreven.
De voor HD-MAC overdracht benodigde eisen worden genoemd, een overzicht wordt gegeven, van daaruit afgeleid, wat nodig is voor HDTV-satellietomroep en wat er gaat komen (pre-Europesat, Europesat en ASTRA).
Digitale brede-band HDTV per satelliet wordt in Europa als de stap volgend op HD-MAC gezien. De ontwikkelingen op dit gebied (bit-reductie van het HDTV-signaal en digitale modulatie van het satellietkanaal) worden kort behandeld.
Als laatste komt HDTV-overdracht d.m.v. de ether aan de orde.
De in de USA door de FCC gevolgde benadering (simulcasting) wordt nader toegelicht.
Tot slot zullen de Europese, Amerikaanse en Japanse benaderingen naast elkaar worden gezet.

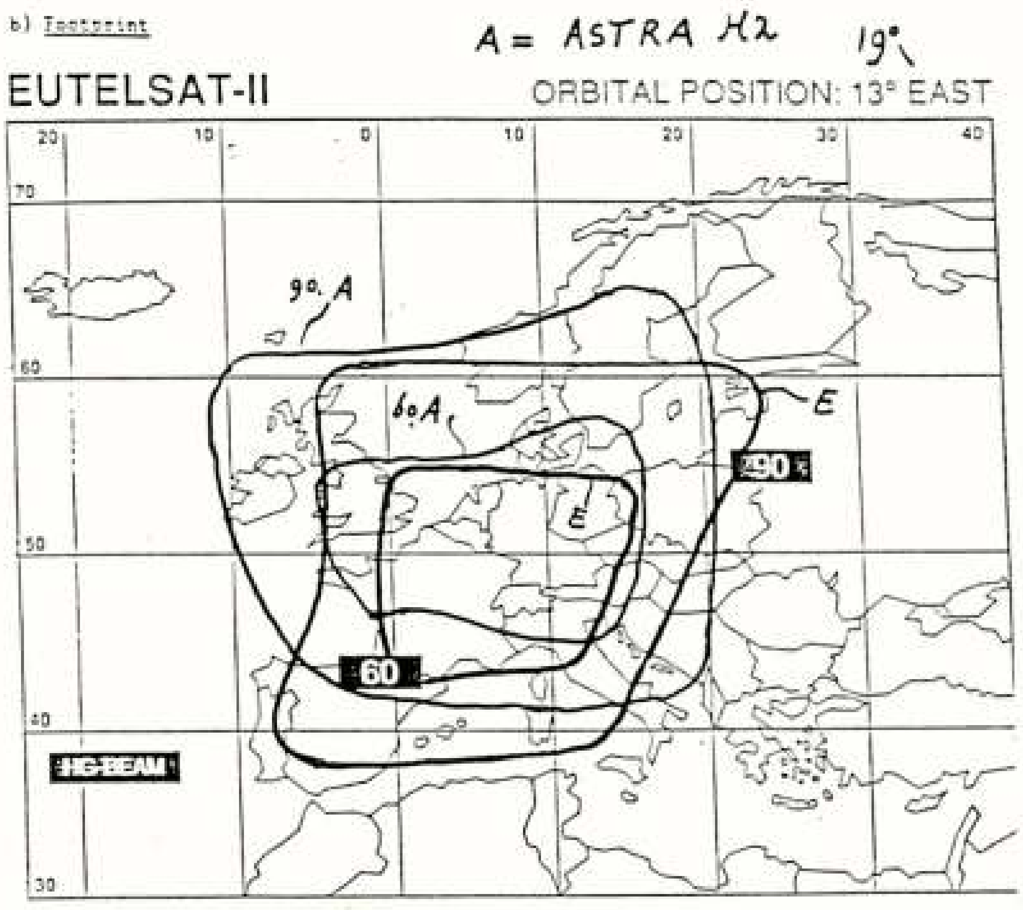
2. ALGEMENE PUNTEN M.B.T. SATELLIETOMROEP

Het voornaamste verschil tussen satellietomroep en satellietcommunicatie is dat bij satellietomroep het door de satelliet uitgezonden signaal door het algemene publiek kan worden ontvangen met niet-professionele ontvangapparatuur.
Er hoeft daarbij geen directe relatie te zijn tussen diegene die uitzendt en diegene die ontvangt.
De relatie tussen het Radio Frequent-vermogen per kanaal van de satelliet, de antennewinst, de demping op het traject van satelliet naar ontvanger, de schoteldiameter en kwaliteit van de ontvanger en de daarmee te realiseren draaggolf/ruisverhouding (C/N-verhouding) wordt gegeven door het link-budget. In het volgende wordt nader ingegaan op het link-budget van de down-link; dat is de verbinding van satelliet naar ontvanger.
Het RF-vermogen per kanaal is een belangrijke grootheid die bepalend is voor het aantal kanalen (transponders) per satelliet en daarmee ook voor de kosten per transponder.

RF-vermogen en antennewinst bepalen het EIRP-vermogen (Effective Isotropic Radiated Power) van de satelliet. Het EIRP-vermogen is het vermogen dat daadwerkelijk nodig zou zijn bij gebruik van een rondstralende niet gerichte antenne.
Het EIRP-vermogen en de demping op het traject van satelliet naar aarde bepalen de veldsterkte op aarde binnen het verzorgingsgebied.
Door variaties in de propagatie (o.m. veroorzaakt door weersomstandigheden) varieert deze demping, hiervoor wordt een zodanige marge in rekening gebracht dat voor 99% van de slechtste maand aan de te stellen eisen wordt voldaan.
Een hogere antennewinst geeft bij gelijkblijvend RF-vermogen een hoger EIRP-vermogen, echter wel binnen een kleiner verzorgingsgebied. Het verzorgingsgebied van een satelliet wordt "foot-print" genoemd.

In figuur 1 is een voorbeeld gegeven van de foot-print van de high gain beam's van de Eutelsat II en de ASTRA-satelliet respectievelijk voor veldsterktes voldoende voor ontvangst met 60 cm schotel en 90 cm schotel.
Bij deze voorbeelden is gebruik gemaakt van "shaped beam" antennes, als normale parabool antennes worden gebruikt is de foot-print ellipsvormig.

b) Footprint



De schoteldiameter en het ruisgetal van de Low Noise Convertor (LNC) bepalen vrijwel geheel de kwaliteit van de ontvanger.
De kwaliteit van de ontvanger als totaal wordt gegeven als G/T (Gain/Temperature) in dB per graad Kelvin, dit getal past rechtstreeks in het link-budget. Omdat schotel en LNC in verschillende combinaties gebruikt kunnen worden, wordt veel meer gerekend met schoteldiameter en LNC-ruisgetal als aparte grootheden. De LNC zet het satellietsignaal om naar een standaard Midden Frequentie rond de 1 GHz, dit gebeurt vlak bij de ontvangschotel.

Het Midden Frequent-signaal wordt dan naar de indoor unit getransporteerd, waar de afstemming op het gewenste programma en de demodulatie naar beeld- en geluidsignalen in basisbandligging plaatsvinden.

Voor PAL en D2-MAC is een "over-all" C/N-verhouding van ca. 13,5 dB nodig voor een goede kwaliteit, dit wordt nog nader toegelicht in punt 4.
De zogenaamde "feeder-link", de verbinding van zendend grondstation naar de satelliet wordt met een hogere beschikbaarheid en een hogere kwaliteit (C/N-verhouding van 24 dB) gepland, omdat eventuele storingen bijv. ten gevolge van slechte weersomstandigheden invloed hebben op de ontvangst in het gehele verzorgingsgebied. Voor de down-link, van de satelliet naar de ontvangers toe, is de invloed t.g.v. weersomstandigheden echter meestal plaatselijk.
Vooral bij individuele ontvangst van omroepsatellieten is de baanpositie (orbit position) van belang. Een positie waar meerdere programma's ontvangen kunnen worden is aantrekkelijk.
Voor het ontvangen van programma's uit verschillende orbit-posities zijn nl. meerdere ontvangers (bij ontvangst t.b.v. kabelsystemen) of ontvangers met draaibare schotels nodig.
Bij omroepsatellieten moet een reservevoorziening liefst vanuit dezelfde orbit-positie en met dezelfde frequentie als het hoofdsignaal kunnen werken. Het is namelijk gewenst dat de reserve gebruikt kan worden zonder extra maatregelen te hoeven nemen bij de (vele) ontvangers.

Universeel bruikbare transponders zoals bijv. van Eutelsat en ASTRA bestrijken een relatief groot gebied. Bij geheel vrije ontvangst leidt dit bij sommige programma-onderdelen tot hoge auteursrechten i.v.m. het grote aantal potentiële kijkers. Om dit te ondervangen kan gebruik worden gemaakt van encryptie of scrambling van het programma. De decodering vindt dan plaats op de kabeltelevisiekopstations en bij de individuele ontvangers. Het aantal potentiële kijkers wordt dan beperkt en komt dichter bij het aantal werkelijke kijkers.

3. Het WARC77 plan

Voor satellietomroep (Direct Broadcasting Satellite service DBS) is het WARC77-plan opgezet. Voor het toewijzen van frequenties is in de Radio Regulations de wereld verdeeld in drie regio's. Regio 1 bestaat uit de Europese landen inclusief Rusland en het Afrikaanse continent. Regio 2 omvat N- en Z-Amerika. Regio 3 bestaat uit China, Japan, Indonesië en Australië.

Het down-linkplan voor de drie regio's (WARC77-plan) is in 1977 opgesteld. Het feeder-linkplan (de verbindingen van grondstation naar satelliet), is voor regio 2 in 1985 opgesteld en voor de regio's 1 en 3 op de WARC-ORBIT conferentie in 1988.
Het totale plan voor regio 2 is anders, flexibeler van opzet dan het plan voor de regio's 1 en 3.

Voor de regio's 1 en 3 heeft het WARC77-plan onderstaande kenmerken:

- Frequentieband voor de down-link 11,7-12,5 GHz (DBS-frequentieband) (-12,2 GHz in regio 3).
- Circulaire polarisatie (in tegenstelling tot de fixed satellite service FSS, waar lineaire polarisatie wordt toegepast).
- Radio Frequent bandbreedte 27 MHz per transponder.
- Draaggolf ruisverhouding (C/N) beter dan 14 dB voor 99% van de "slechtste" maand.
- Planning voor individuele ontvangst. Ontvanger met een G/T van 6 dB/K° bij een schoteldiameter van 90 cm.
- Nationale bedekkingsgebieden, omdat het plan uitgaat van normale paraboolantennes zijn de bedekkingsgebieden ellipsvormig om het betreffende land.
- 5 TV-kanalen beschikbaar per land. Aan elk land zijn 5 frequenties en een orbit positie toegewezen.

Met de genoemde C/N waarde wordt voor PAL en D2-MAC een kwaliteit van meer dan 4 gehaald op de CCIR kwaliteitschaal. Deze schaal loopt van 1 tot 5 waarbij 5 de maximale kwaliteit van een systeem, c.q. geen zichtbare afwijkingen t.o.v. het originele studiosignaal, aangeeft. De huidige aardse netten voor PAL zijn op een kwaliteit van 3,5 gepland.
Per orbitpositie kunnen in de frequentieband van 11,7-12,5 GHz 40 kanalen worden uitgezonden.
Nederland heeft de orbitpositie 19° West toegewezen gekregen evenals Frankrijk, Duitsland, Luxemburg, Oostenrijk, België, Zwitserland en Italië.

Dit WARC77-plan sluit om de volgende redenen minder goed aan op de huidige situatie:

- De voor de ontvanger aangenomen G/T leidt tot zeer hoge vermogens nl ca. 64 dBW EIRP per satellietkanaal. Dit maakt de betreffende kanalen duur. De ontvangers van nu kunnen met een kleinere schotel (60 cm) 6 à 8 dB beter zijn!
- T.g.v. het hoge vermogen zijn per satelliet slechts een klein aantal kanalen (5) mogelijk . Te samen met de nationale en a-priori toewijzing van frequenties en orbitpositie en de nationale bedekkingsgebieden houdt dit het gebruik van een nationale satelliet per land in. In verband met het bovenstaande zijn reserve voorzieningen van universeel karakter ook niet mogelijk, zodat elk land zijn eigen reserve moet realiseren via een tweede satelliet voor 5 kanalen.

Gezien het bovenstaande en het "starre" karakter van het geheel wordt er wel gepleit voor een herziening van het WARC77-plan, waarbij o.m. in plaats van 5 kanalen per land wordt uitgegaan van een flexibeler verdeling die beter op de werkelijke behoefte in Europa kan aansluiten.
Een totale herziening van het plan is echter zeer moeilijk haalbaar, omdat de Afrikaanse landen hun reserveringen voor 5 frequenties per land en bijbehorende orbitpositie niet willen opgeven. Dit uit angst dat er anders geen mogelijkheden meer zijn voor diegenen die later pas iets willen implementeren. Wat betere kansen maakt dan een totale herziening, is een modificatie van het WARC77-plan voor Europa die de rest van het plan niet aantast. Door Eutelsat (zie punt 6) wordt hieraan gewerkt.

Voor de frequenties van 11,7-12,5 Ghz (DBS-frequenties volgens het WARC77 plan) is er in Europa de MAC-richtlijn. Dit houdt in dat DBS-kanalen alleen voor MAC gebruikt mogen worden. In 1991 loopt deze richtlijn af. De Europese Commissie bereidt een verlenging van deze richtlijn voor.
Nederland en enkele andere landen zijn er voor deze richtlijn uit te breiden zodat ook satellieten in de FSS-band (zie punt 5) na een over gangsperiode in de MAC-norm moeten gaan uitzenden. Niet alle landen delen deze mening. In dit kader wordt daar verder niet op ingegaan. Wel kan gesteld worden dat een richtlijn gewenst is uit oogpunt van standaardisatie en om ontwikkelingen te sturen. Uiteindelijk zullen MAC en HD-MAC echter op grond van de geboden mogelijkheden en kwaliteit de belangstelling van het publiek moeten krijgen.

4. HD-MAC via de satelliet

Voor PAL- en D2-MAC is een "overall" (inclusief feederlink en down-link) draaggolf ruisverhouding nodig van 13,5 dB voor een kwaliteit beter dan, c.q. gelijk aan, 4 op de CCIR vijfpuntsschaal.
Voor HD-MAC is volgens de laatste gegevens vanuit het Eureka95-project een "overall" draaggolf ruisverhouding nodig van 20 dB voor een kwaliteitsgraad beter dan, c.q. gelijk aan, 4.
Voor het ontvangen van HD-MAC wordt voor individuele ontvangst uitgegaan van een referentie ontvanger met een Low-Noise Convertor van 1,5 dB en een schotel van 90 cm diameter. Dit zijn praktische gegevens die nu al relatief eenvoudig realiseerbaar zijn en daarom betaalbare ontvangers mogelijk maken. In onderstaande tabel wordt het benodigd satellietvermogen weer gegeven, voor PAL/D2-MAC en HD-MAC voor meerdere schoteldiameters, om het genoemde kwaliteitsniveau voor 99% van de "slechtste" maand te realiseren.

	Schoteldiameter	Satelliet EIRP (dBW) D2-MAC/PAL	HD-MAC
Draaggolfruisverhouding voor 99% van de slechtste maand C/N >/13,5 dB voor MAC C/N >/20 dB voor HD-MAC	0,60m	54	62
	0,75m	52,5	60
	0,90m	51	58,5
Beeldkwaliteit op de CCIR vijfpuntsschaal (4=good 5=excellent): beter dan 4	1,20m	48	56
	1,50m	46	54
Low noise convertor: 1,5db (referentie)	1,80m	44,5	52,5

Tabel 1

Het verschil in satellietvermogen voor HD-MAC en D2-MAC is groter dan het verschil in draaggolfruisverhouding van 20 dB resp 13,5 dB. Dit komt omdat bij een C/N van 20 dB de invloed van de ruis van de opstraalverbinding (feeder-link) op het totaal, relatief groter is.

Bij gebruik van een 60 cm schotel voor ontvangst van een satelliet met een vermogen van 51 dBW EIRP zoals bv Astra komt men eigenlijk 3 dB te kort.
Dit betekent dat in de praktijk het kwaliteitsniveau dan niet voor 99% van de "slechtste" maand wordt gehaald. Dat een 60 cm schotel voor Astra-ontvangst wat marginaal is, blijkt uit het feit dat ook voor de aller goed koopste ontvangers voor Astra, geen kleinere schotels dan 60 cm worden gebruikt en dat de wat duurdere sets al snel 80 cm of 90 cm schotels gebruiken.

Uitgaande van het link budget (vermogensbalans) zouden bij hoge vermogens kleinere schotels dan 60 cm gebruikt kunnen worden voor de ontvangst van PAL en D2 MAC. Er moet echter ook rekening worden gehouden met interferentie.
Het WARC77-plan is opgezet uitgaande van schotels van 90 cm. Bij een vrijwel volledige realisatie van het plan kunnen er met schotels kleiner dan 90 cm interferentieproblemen optreden ten gevolge van de grote openingshoek.
Ook is bekend dat er ten gevolge van de baanposities interferentieproblemen zullen zijn tussen de nog te lanceren Astra 1B-satelliet en één van de Eutelsat II-satellieten. In verband met het bovenstaande is voor hoge kwaliteit het gebruik van schotels groter dan 60 cm liefst van 90 cm diameter gewenst.

<u>Als Conclusie kan worden gesteld:</u>

- Bij een ontvanger met een LNC van 1,5 dB en een schotel van 90 cm is ca. 58,5 dBW EIRP satelliet vermogen nodig voor goede ontvangst van HD-MAC.
- In de FSS (Fixed satellite Service) banden is er een beperking van het zendvermogen tot 55 dBW EIRP (zie punt 5).

  Individuele ontvangst van HD-MAC is dan een marginale zaak. Met een 90 cm schotel komt men nl ca. 3,5 dB te kort. Juist voor HD-MAC dat een zeer goede beeldkwaliteit moet leveren is dit nadelig. Met een schotel van 1,20 is wel voldoende kwaliteit bereikbaar.

5. De huidige situatie

Vooral in verband met de hoge prijs per kanaal zijn er momenteel nog niet erg veel DBS-satellieten overeenkomstig het WARC77-plan in gebruik genomen.
Gezien de snelle en gunstige ontwikkelingen op het gebied van de technische eigenschappen van satellietontvangers kon de verspreiding van omroepprogramma's via telecommunicatie satellieten letterlijk en figuurlijk goed van de grond komen. In eerste instantie werd daar bij met de low-power satellieten vooral gemikt op het aanstralen van kabeltelevisienetten. Het is echter gebleken dat met schotels van 1,20 m en goede ontvangers individuele ontvangst van low-power satellieten redelijk tot goed mogelijk is.
<u>Opm.</u> Bij low-power satellieten is de kanaalbreedte vaak groter dan 27 MHz.
De maximale frequentiezwaai is ook groter. De situatie is dan gunstiger dan uit tabel 1 zou volgen.
De komst van de Astra satelliet heeft de markt voor individuele ontvangers met kleinere schotels (60 cm en 90 cm) geopend.

Momenteel worden zeer veel programma's per satelliet verspreid. Vele handelaars kunnen uitgebreide lijsten ter beschikking stellen met gegevens over satellietvermogen, frequentie, uitzendnorm (PAL, SECAM of D2-MAC e.d)., wel of geen "encryptie" toegepast enz. In de onderstaande tabel 2 wordt de huidige situatie schematisch weergegeven, de nadruk ligt daarbij op de indeling in vermogensklasse en toegepaste frequentieband. De voor Europa meest van belang zijnde satelliet (typen) zijn als voorbeeld genoemd.

<table>
<tr><td>Low-power</td><td>Medium-power</td><td></td><td>High-power</td><td></td></tr>
<tr><td>44 dBw</td><td>51 dBw</td><td>55 dBW</td><td>62 dBW</td><td>EIRP</td></tr>
<tr><td>Intelsat</td><td>Astra 1A, 1B</td><td>|</td><td>TDF 1+2 Tele-X</td><td></td></tr>
<tr><td>Eutelsat I</td><td>Eutelsat II</td><td>|</td><td>TV-sat. BSB 1 + 2</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>Kopernikus</td><td>|</td><td>Olympus</td><td></td></tr>
<tr><td>FSS 10-11 GHz, > 12,5 GHz</td><td></td><td>|</td><td>DBS 11,7 - 12,5 GHz</td><td></td></tr>
<tr><td>Lin Pol.</td><td></td><td>|</td><td>Circ. Pol.</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>51 <----</td><td>"GAP." ---></td><td>62</td><td></td></tr>
<tr><td>HD-MAC CATV</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td></td></tr>
<tr><td>HD-MAC Individueel</td><td>-</td><td>0</td><td>+</td><td></td></tr>
</table>

tabel 2

De satellieten links van de gestippelde lijn maken gebruik van frequentie banden voor de Fixed Satellite Service (FSS). Dit betreft frequenties in de band van 10-11 Ghz en later (o.a. voor de nog te lanceren Eutelsat II satellieten) frequenties boven de 12,5 GHz. In de FSS-banden wordt lineaire polarisatie toegepast. Omdat deze frequenties op aarde ook voor andere doeleinden worden gebruikt is het maximale vermogen beperkt tot 55 dBW EIRP.
De transponders van de Eutelsat satellieten zijn 36 MHz en 72 MHz breed; voor een TV-programma plus bijbehorend geluid wordt 27 MHz daarvan gebruikt.
De transponders van de Astra 1A en 1B satelliet zijn geoptimaliseerd voor TV-distributie en 27 MHz breed.
Het merendeel van de satellieten zendt uit in SECAM en PAL, op Astra wordt ook in D2-MAC uitgezonden (ca. 2 kanalen van de 16).

De satellieten rechts van de gestippelde lijn maken gebruik van de DBS band van 11,7 - 12,5 GHz. In de DBS banden wordt circulaire polarisatie toegepast. Het maximale vermogen mag aanzienlijk hoger zijn nl 64 dBW EIRP.
De RF-bandbreedte is 27 MHz. De TDF 1 en 2 zijn Franse satellieten, de Tele-X is van Zweden, de TV-sat. is een Duitse satelliet en DBS 1 en 2 zijn van het Verenigd Koninkrijk. De Olympus is een experimentele satelliet met 2 DBS transponders die momenteel worden gebruikt door de RAI en voor het educatieve programma Eurostep.
De operationele DBS satellieten zenden conform de Europese richtlijn in MAC uit.
Alhoewel de Marco-polo satellieten voor het DBS project technisch goed functioneren is het BSB project als zodanig om andere niet technische redenen gestopt. Het helemaal niet gaan gebruiken van de satellieten houdt een grote kapitaals vernietiging in.
Er worden plannen ontwikkeld om de satellieten toch te gaan gebruiken maar dan later en waarschijnlijk met D2 MAC i.p.v. zoals eerst de bedoeling was met D-MAC. In verband met het karakter van het WARC77-plan (zie punt 3) zijn de kanalen niet of nauwelijks te gebruiken voor en door andere landen dan het Verenigd Koninkrijk.
In principe maakt het voor het publiek niet uit of de programma's in de DBS of FSS banden worden verspreid. Een punt is wel dat universele ontvangers, voor beide banden duurder zijn, vooral door de verschillende polarisaties (circulair voor DBS en lineair voor FSS). Voor ontvangst van MAC is daarbij een MAC voorzetdecoder of MAC-ontvanger nodig).
In verband met de vermogensbespreking tot 55 dBW is het gebruik van de FSS banden voor individuele ontvangst van HD-MAC een marginale zaak (zie conclusie van punt 4).

In het onderste deel van tabel 2 is aangegeven welke satellietvermogens voor respectievelijk collectieve ontvangst (CATV) en individuele ontvangst van HD_MAC van belang zijn.
Het blijkt dat er momenteel in de voor individuele ontvangst van HD-MAC optimale vermogensklasse 56 à 59 dBW EIRP geen satellietcapaciteit beschikbaar is. Er is een groot "gat" tussen mediumpower 51dBW en highpower 62 dBW.
In punt 6 worden een aantal mogelijkheden besproken om in deze leemte te voorzien.

6. Europesat, pre-Europesat en Astra Europesat:
Het Europesat-project is opgezet door Eutelsat. De voornaamste punten van het betreffende plan zijn:
- Frequentieband voor de down-link 11,7-12,5 gHz (DBS-band).
- Circulaire polarisatie.
- Radiofrequentiebandbreedte 27 MHz per transponder [1]
- RF-vermogen 125 W per transponder. EIRP-vermogen 57 à 59 dBWEIRP
  (derhalve geschikt voor individuele ontvangst van HD-MAC met 90 cm schotel).
- Bedekkingsgebieden (foot-prints) variabel, afhankelijk van de nog nader uit te werken eisen van de deelnemende landen.
- Orbitpositie 19°W [2]
- Voor 40 kanalen worden 4 identieke satellieten gebruikt waarvan 3 operationeel en 1 reserve in orbit.
- Operationeel vanaf 1996.

1) Een grotere RF-bandbreedte maximaal 33 MHz is in discussie. Dit kan worden bereikt door de kanalen verder te laten overlappen in hetzelfde raster en dan meer gebruik te maken van de polarisatie ontkoppeling. Als de landen hier verder niet om vragen vervalt deze optie.

2) Het plan is eerst opgezet voor de orbitpositie 29° Oost. Qua frequentie gebruik zou dit aantrekkelijk zijn, er is dan geen interactie met het huidige WARC 77-plan.

Vooral door Frankrijk is aangedrongen om de baanpositie 19°West te gebruiken. Ee nadeel daarvan is dat dan wel interactie optreedt met het WARC77-plan. Als Europesat wordt gerealiseerd zijn de volgens het WARC77 plan toegewezen kanalen niet meer te gebruiken. Het is voor de 19° West orbitpositie of Europesat of WARC77 "oude opzet".
Aan Europesat wordt nu deelgenomen door Frankrijk, Oostenrijk, Duitsland, Italië, Portugal, Zweden, Joegoslavië en Nederland. Deze landen en daarbij de landen met een "WARC77 toewijzing" voor de 19° West orbitpositie zijn in overleg hoe het WARC77 plan voor de 19° W orbitpositie gewijzigd moet worden om het Europesat project op die positie te realiseren.

Pre-Europesat
Uit tabel 2 van punt 5 blijkt dat er een "gap" is tussen de beschikbare satellietvermogens nl. tussen 51 dBW en 62 dBW.
Omdat het Europesat project pas na 1996 operationeel is, is er ook een "gap" in de tijd.
Met name is dit het geval voor Frankrijk dat in D2MAC uitzend via de TDF1 en 2. Er zijn technische problemen met deze satellieten en het is zeer onzeker of zij voldoende continuïteit zullen bieden tot 1996. Voor Duitsland geldt hetzelfde omdat er maar 1 TV Sat is zonder reserve. Op iniatief van deze twee landen is het "GAP-sat" of te wel pre-Europesat project gestart. Dit voorziet in een satelliet op 19° West, in 1993 met 12 à 14 kanalen in de DBS-banden met een vermogen van 57 à 59 dBW EIRP per kanaal. Het is de bedoeling dat de betreffende satelliet later geïntegreerd zal worden in het Europesat project, bv als reserve satelliet.
Opm. Deze satelliet is dan wellicht niet geheel identiek aan de drie andere satellieten van het Europesatproject.
Astra
Op dezelfde orbitpositie (19° Oost) waarop ook de Astra 1A en 1B staan, met in totaal ca 32 kanalen, zouden ook de Astra 1C en 1D geplaatst moeten worden in de periode 1993-1995.
De Astra 1C zou ca 18 operationele kanalen in de FSS-banden met een vermogen van 55 dBW EIRP per kanaal hebben. Volgens het SES-concern is dit voldoende voor HD-MAC (zie conclusie van punt 4).
Het SES-concern heeft frequenties in de DBS-band aangevraagd bij het IFRB (International Frequeney Registration Board).
De Astra 1D zou 18 kanalen in de DBS banden hebben en door middel van combinatie schakelingen van eindbuizen (Travelling Wave Tubes) zou voor 4 kanalen een hoog vermogen (60dBW EIRP?) bereikt kunnen worden.

Een en ander staat nog niet duidelijk vast en zal uiteraard door de actuele vraag en de verdere ontwikkelingen worden beïnvloed.
Het is bij satelliet projecten zo dat de lancering en de omvang en gewicht van het dragerdeel van de satelliet (het platform) in vrij grote mate afzonderlijk gepland kunnen worden. Dit kan derhalve op voorhand geschieden, de keuze met betrekking tot frequenties, vermogen per kanaal e.d. hoeft pas later ingevuld te worden.

7. Wat doet Nederland

De Europese Commissie heeft haar lidstaten aanbevolen om Nationale platforms op te richten om de invoering van HDTV per land te bestuderen. In december 1989 is in dit kader de Stichting Nederlands Platform voor HDTV opgericht.
De belangrijkste deelnemers zijn de departementen van EZ, WVC en V en W, NOS, NOB, PTT, Philips en NOZEMA. Tevens nemen ook een aantal andere organisatie en industrieën deel.
Het Nederlands platform voor HDTV heeft een bestuur dat geadviseerd wordt door drie werkgroepen gericht op Produktie, Transmissie en Elektronische diensten (c.q. niet omroeptoepassingen van HDTV). In het volgende worden de conclusies van het platform, t.o.v. het uitzenden en invoeren van HDTV weergegeven.
Uitsluitend voor ontvangst door kabelkopstations zou een medium power satelliet (51dBW) voldoende zijn. Nederland is momenteel voor ca. 80% bekabeld, uitgaande van een totaal van 5,7 miljoen woningen zijn er dan ca. 1,2 miljoen niet op de kabel aangesloten. Als uiteindelijk 3/4 daarvan een satellietontvanger aanschaft komt dit neer op ca. 850.000 ontvangers. Uit globale prijsvergelijkingen tussen enerzijds duurdere hoog vermogenstransponders en relatief goedkope individuele ontvangers en anderzijds medium-power transponders met duurdere individuele ontvangers blijkt dat voor 2 TV-programma's het kantelpunt ligt bij ca. 200.000 ontvangers.

Op grond van het bovenstaande en het feit dat voor HD-MAC ontvangst via de nu aanwezige medium-power satellieten in elk geval schotels groter dan 90 cm nodig zijn is het Platform tot de conclusie gekomen dat voor het uitzenden van HD-MAC Nederland de beschikking zou moeten hebben over een satelliet-transponder met een vermogen van ca 57 à 58 dBW EIRP. Nederland heeft momenteel een optie op 2 transponders van het Europesatproject, zie punt 6.

Omdat dit project pas in of na 1996 satelliet capaciteit zal opleveren en het platform bestuur het niet gewenst vond om tot dan geheel niets aan MAC of HD-MAC te doen wordt de mogelijkheid onderzocht om D2MAC breedbeeld uitzendingen te beginnen via een medium power satelliet. Daarvoor is door NOS, NOB, Philips en PTT het TV-plus project nu D2TV genoemd opgezet. Vanuit het HDTV platform wordt dit project nu gestuurd waarbij naast de genoemde participanten tevens de NOZEMA en de VECAI zijn betrokken. De belangrijkste kenmerken van het D2TV project zijn:

- start in (begin) 1992.
- Uitzendingen in 16.9 breedbeeld D2-MAC.
- Uitzendingen 's avonds van ca. 07.00-23.00 uur (prime time).
- Programma's zijn in beginsel een compilatie van Ned. 1, 2 en 3 programma's.
- Programma's worden geproduceerd met 1250 lijnen HDTV apparatuur.
- De kanalen voor doorgifte in de CATV netten zullen 12MHz breed zijn en ook geschikt voor doorgifte van HD-MAC.
- Gebruik van een medium-power satelliet. Voorzien is de Eutelsat II F4 met baanpositie 36° Oost en 51 dBW EIRP vermogen.

Het D2TV project moet worden gezien als een aanloop fase. Er wordt ervaring opgedaan met breedbeeld en met HDTV produktie-apparatuur. Er wordt een voorraad van HDTV produkties opgebouwd. De ervaring met breedbeeld D2-MAC, met een satelliet kanaal en met de doorgifte in CATV netten zal de introduktie van HD-MAC in 1996 vergemakkelijken.
Op ad-hoc basis zijn experimten met HD-MAC mogelijk T.g.v. het project zullen er breedbeeld D2MAC ontvangers worden verkocht. Verder heeft dit project een "signaalfunctie" in de richting van andere (Europese) landen. Momenteel wordt het financiële draag vlak voor en de relatie met de Mediawet van het D2TV project verkend.

8 Digitale HDTV via de satelliet

Voor een HDTV studiosignaal in digitale vorm is een bitsnelheid van ca. 1,5 Gbit/sec nodig. Dit betreft een signaal in niet gereduceerde vorm waarmee produktiebewerkingen (post-processing) mogelijk zijn. Als we uitgaande van een indeling volgens rapport-cijfers van 1 tot 10 dit signaal het kwaliteitsniveau 10 toekennen dan is de kwaliteit van HD-MAC ruwweg met een 7,5 te waarderen. Ruim voldoende tot goed maar toch een duidelijke afstand tot de studiokwaliteit.

Voor contributie verbindingen is het gewenst HDTV met een zodanig kwaliteitsniveau over te dragen dat daarna nog productiebewerkingen mogelijk zijn.
In het kader van het RACE 1018 project en het Eureka project nr 256 wordt onderzoek verricht naar de hiervoor nodige reductie technieken, het zonder reductie overdragen van 1,5 G-bit/sec, wordt zeker voor wat grotere afstanden te duur. Het is de bedoeling om een signaal met een hogere kwaliteit, dichtbij die van het studiosignaal (in cijfers 9) met 140 Mbit/sec over te kunnen dragen. In Italië zijn in dit kader experimenten verricht met de overdracht van 140 M bit/sec via een Eutelsat transponder met een RF-bandbreedte van 72 MHz. Hiervoor zijn voor zender en ontvanger schotels van 4 m diameter nodig. Eveneens is daar geëxperimenteerd met overdracht van 70 Mbit/sec HDTV signalen via een transponder van Olympus, de RF bandbreedte van de transponder was hierbij ca. 42 MHz.

Voor de toekomst wordt gedacht aan het per satelliet in digitale vorm uitzenden van HDTV signalen naar de kijkers. Ook wordt uitgegaan van 140 Mbit/sec en een kwaliteitsniveau zeer dichtbij dat van het studio-signaal (in cijfers 9). Dit signaal hoeft echter niet meer geschikt te zijn voor nabewerkingen t.b.v. produktie, wel moet de decoder betaalbaar zijn voor een consumenten apparaat. Het is niet onwaarschijnlijk dat hier een andere reductie zal worden toegepast dan t.b.v. de contributie verbindingen.
Voor deze vorm van HDTV-uitzending, wide RF-band HDTV wordt in Europa gedacht aan het gebruik van de frequentieband van 21,4-22 GHZ. Uitgaande van een RF-bandbreedte van 100 MHz (140 Mbit/sec) kunnen in deze band dan maximaal 4 à 6 HDTV programma's per land worden verspreid.
Om de bitfouten op de transmissieweg te kunnen corrigeren is het nodig Forward Error Correction toe te passen. Bijvoorbeeld een BCH-code. Daarbij wordt dan ook nog een Convolutiecode toegepast zodat er twee foutcorrectie methodes in serie worden toegepast. Met quadrature phase shift keying (4fase modulatie QPSK) kan 2 bit/Hz worden overgedragen. Met 8 fase modulatie is 3 bit/Hz haalbaar maar daarvoor is een hogere draaggolf/ruisverhouding nodig. Het wordt onderzocht wat in een bepaalde totale frequentieband in relatie met de frequentieplanning het beste is, smallere kanalen met 8 fase modulatie die een hoge verhouding tussen signaal enerzijds en ruis en interferentie anderszijds vragen of bredere kanalen met QPSK die wat beter tegen ruis en interferentie bestand zijn.

In een 27 MHz satellietkanaal zou in plaats van HD-MAC ook een digitaal HDTV signaal overgedragen kunnen worden. Als daarmee een lagere kwaliteit dan HD-MAC wordt bereikt is dat zekere niet zinvol. Als de kwaliteit gelijk is aan die van HD-MAC zou het tot een aanzienlijke vertraging voor het invoeren van HDTV leiden omdat HD-MAC al ver is uit ontwikkeld en gestandaardiseerd.
Het wordt nu niet verwacht dat het op een termijn van 5 jaar mogelijk zal zijn in een 27 MHz-satellietkanaal door digitale overdracht een veel betere kwaliteit te bereiken dan HD-MAC, waarbij de decodeerapparatuur voor consumententoepassing betaalbaar is. Om HDTV op een termijn van 5 jaar als operationele dienst uit te kunnen zenden is HD-MAC derhalve een goed systeem.

9. (Digitale) HDTV via aardse zendernetten

In N-Amerika is het verspreiden van TV-signalen via de ether c.q. via aardse netten zeer belangrijk. Het merendeel van de omroep wordt namelijk bedreven door stations met een lokaal en/of regionaal karakter.

De mogelijkheid om ook HDTV via aardse netten uit te kunnen zenden staat dan ook sterk in de belang-stelling. In de U.S.A. is in februari 1990 besloten dat het invoeren van HDTV via aardse netten c.q. via de ether moet geschieden volgens het principe van "simulcasting". Dat wil zeggen dat het betreffende programma via een standaardkanaal van 6 MHz RF-bandbreedte in NTSC wordt uitgezonden zoals nu ook gebeurd, daarnaast wordt een extra kanaal van eveneens 6 MHz bandbreedte ter beschikking gesteld om het zelfde programma parallel als HDTV signaal uit te zenden.

Omdat het HDTV signaal niet dezelfde spectrale inhoud heeft als een NTSC signaal kunnen de voor NTSC niet te gebruiken UHF kanalen (de taboo channels) hiervoor worden gebruikt. Er is in N-Amerika nog genoeg ruimte in het UHF-spectrum om in 90% van de gevallen elk station een extra kanaal toe te wijzen ten behoeve van simulcasting. Opm.: In Europa is daarentegen een dergelijke ruimte in het UHF spectrum in het geheel niet aanwezig. In 1993 zou door de FCC een systeem keuze worden gedaan voor de uitzendstandaard voor HDTV via aardse netten. (T.a.v. het eventueel uitzenden van HDTV per satelliet is in N-Amerika (vooralsnog) niet een
dergelijke regelgeving opgezet). Er wordt in veel gevallen gedacht aan een digitaal systeem om in het 6 MHz standaardkanaal HDTV uit te zenden, door het principe van "simulcasting" hoeft een dergelijk systeem helemaal niet compatibel te zijn met NTSC. Als voorbeeld van een systeem worden hier enkele gegevens vermeld van het Digicipher systeem van General Instruments.

- 16 quadrature Amplitude Modulatie in het 6 MHz kanaal. Forward 130/154 Error Correction.
- ca. 19 Mbit/sec totaal waarvan 14 Mbit/sec voor het beeld
- Bitratereductie met Discrete Cosine Transformation en Motion Compensation.
- Bandbreedte van het helderheidssignaal 1) 22 MHz, van het kleurensignaal 5,5 MHz.
- Horizontaal 1408 beeldpunten 1), verticaal 960 beeldpunten.
- Het bronsignaal is een 1050 lijnen signaal met een raster frequentie van 59,94 Hz (2x NTSC) in breedbeeldformaat 16:9.

1) De hieruit af te leiden resolutie wordt waar-schijnlijk niet gerealiseerd voor (snel) bewegende beelden.

Het gebruik van 6 MHz standaard kanalen betekent dat de bestaande infrastructuur grotendeeels kan worden gebruikt voor HDTV. Het is echter de vraag of de bereikte kwaliteit wel voldoende zal zijn.

Zowel de overdracht van 19 Mbits in een 6 MHz standaard kanaal is zeker niet probleem vrij, General instruments zelf zegt dat hier nog onderzoek en ontwik-keling nodig is.
Ook is het de vraag of HDTV kwaliteit in 14 Mb/s bereikt kan worden, t.a.v. de HDTV produktiestandaard gaat het om een reductie met een factor 100. Men zou de vraag kunnen stellen: als dit met 14 Mbit/s echt gaat waarom moet dan met 1,5 Gbit/sec worden geprodu-ceerd. Het verschil in capaciteit tussen produktie en uitzend standaard is dan wel erg groot. De van het systeem getoonde computersimulaties van de bitrate reductie (op de IBC90) zagen er goed uit. Bij één demonstratie is het echter de vraag in hoeverre het algiruthme van de bitrate reductie specifiek op dat beeldmateriaal is aangepast.
Het is wel zo dat de beeldkwaliteit t.o.v. de nu in de praktijk met NTSC in de USA gerealiseerde kwaliteit een flinke stap vooruit zal betekenen.
Dit zal dan ook deels komen doordat in de USA nu, qua beeldkwaliteit, wat nonchalant met NTSC is en wordt omgegaan.

<u>10 Benaderingen t.a.v. HDTV van Japan, Europa en USA</u>
In het volgende worden de belangrijkste kenmerken van de verschillende benaderingen weergegeven.

<u>Japan</u>
Zowel bij produktie en uitzending wordt HDTV gezien als een parallele ontwikkeling die in beginsel los staat van het bestaande TV-systeem (in Japan NTSC).
<u>Voor HDTV is een nieuwe infra structuur nodig.</u>
Het Japanse produktie systeem (1125 lijnen / 60 Hz) en het bijbehorende HDTV uitzend systeem MUSE zijn niet compatibel met bestaande systemen. Van MUSE zijn er varianten, ondermeer voor 27 MHz standaard satelliet-kanalen en voor aardse kanalen van 6 MHz bandbreedte. Het is niet waarschijnlijk dat N-Amerika dit systeem voor aardse HDTV zal kiezen. De Japanse produktie apparatuur wordt wel veel gebruikt in N-Amerika omdat het al sinds enkele jaren het enige is wat te koop is en de hardware goed voldoet. In Japan wordt nu al ca 1 jaar 2 uur per dag via de satelliet met MUSE uitge-zonden.

<u>Europa</u>
In Europa is in eerste instantie uitgegaan van een evolutionare benadering nl PAL/SECAM---D2MAC---HD.MAC. Omdat de ontwikkelingen met D2MAC langzamer gingen dat eerst werd verwacht en de HD-MAC juist snel is ontwik-keld in verband met de druk op HDTV vanuit Japan komt HD-MAC nu als doel en 16:9 D2MAC als interim situatie naar voren. <u>Voor HDTV en HD-MAC is een nieuwe infra-structuur nodig</u>.

Een belangrijk voordeel van de compatibiliteit tussen HD-MAC en D2-MAC en de relatie tussen D2MAC en PAL (qua beeldopbouw, 625 lijnen) is in deze situatie dat ontvangst van HD-MAC naar keuze op verschillende kwaliteits (en financiele) niveaus mogelijk is. Ten eerste met een HD-MAC ontvanger met maximale kwaliteit, of met een minder kostbare D2-MAC breedbeeld ontvanger of, als goedkoopste alternatief, via een D2 MAC voorzet decoder en de nu aanwezige ontvanger.

PAL-plus kan hierbij worden gezien als een mogelijkheid om ook via de bestaande aardse zenders breedbeeld te leveren. Als PAL-plus is uit ontwikkeld en gestandaardiseerd kan een breedbeeld ontvanger universeel voor D2-MAC en PAL worden gebouwd. Het is de bedoeling ontvangers altijd neer waards compatibel te maken, een D2MAC ontvanger kan ook PAL ontvangen en een HD-MAC ontvanger D2MAC en PAL.

<u>USA</u>
In de USA is in eerste instantie sterk een top-down benadering gevolgd.
Eerst het HDTV produktiesysteem vastleggen en daarna de uitzendnorm uitwerken. Een wereldstandaard voor HDTV produktie is gunstig voor de software industrie (TV produkties, film e.d.), daarom heeft de USA geprobeerd samen met Canada en Japan het Japanse 1125 lijnen/60HZ systeem een wereldstandaard te laten worden. Dit is door Europa niet geaccepteerd.
In Europa is vanaf het begin aandacht besteed aan de relatie tussen produktie, verspreiding en ontvangst van HDTV.
In een latere fase is de USA dit ook op haar eigen wijze gaan doen.
Kernpunten van de USA benadering zijn:

- <u>gebruik voor HDTV uitzending zowel mogelijk de bestaande infrastructuur</u>
- zend programma's parallel in NTSC en als HDTV uit, compatibiliteit tussen HDTV en NTSC is dan niet nodig (simulcasting).

De steun van de USA voor het Japanse HDTV produktie-systeem is nu gestopt.
Men wil wachten totdat (in 1993) een uitzendnorm voor HDTV wordt vastgesteld (zie punt 9) en dan de kwestie van een produktiestandaard nader bezien.
Er wordt namelijk wel veel waarde gehecht aan een produktiestandaard die (i.v.m. de simulcasting) goed aansluit op het nog te definiëren HDTV uitzendsysteem <u>en</u> op NTSC.

Een voordeel van de Amerikaanse benadering is het gebruik van de conventionele infra structuur. HDTV uitzending kan daardoor geleidelijk per station worden ingevoerd zonder hoge drempel investeringen zoals wel nodig zijn voor satellietkanalen. In Europa is de ruimte in het UHF spectrum die nodig is voor de Amerikaanse aanpak niet aanwezig. Een nadeel van de Amerikaanse benadering is dat het uiteindelijk bereikte kwaliteitsniveau waarschijnlijk toch wel wat ver van dat van de HDTV studio standaard zal liggen. Het is de vraag of de benadering qua beeldkwaliteit voldoende toekomst vast is.

Voordracht gehouden tijdens de 385e werkvergadering.

HDTV VIA DE COAX-KABEL IN NEDERLAND

Ing. A.M. Velders
Philips Nederland B.V.
afd. Video Communicatie en Dicteer Systemen

HDTV via the coaxial cabel in the Netherlands

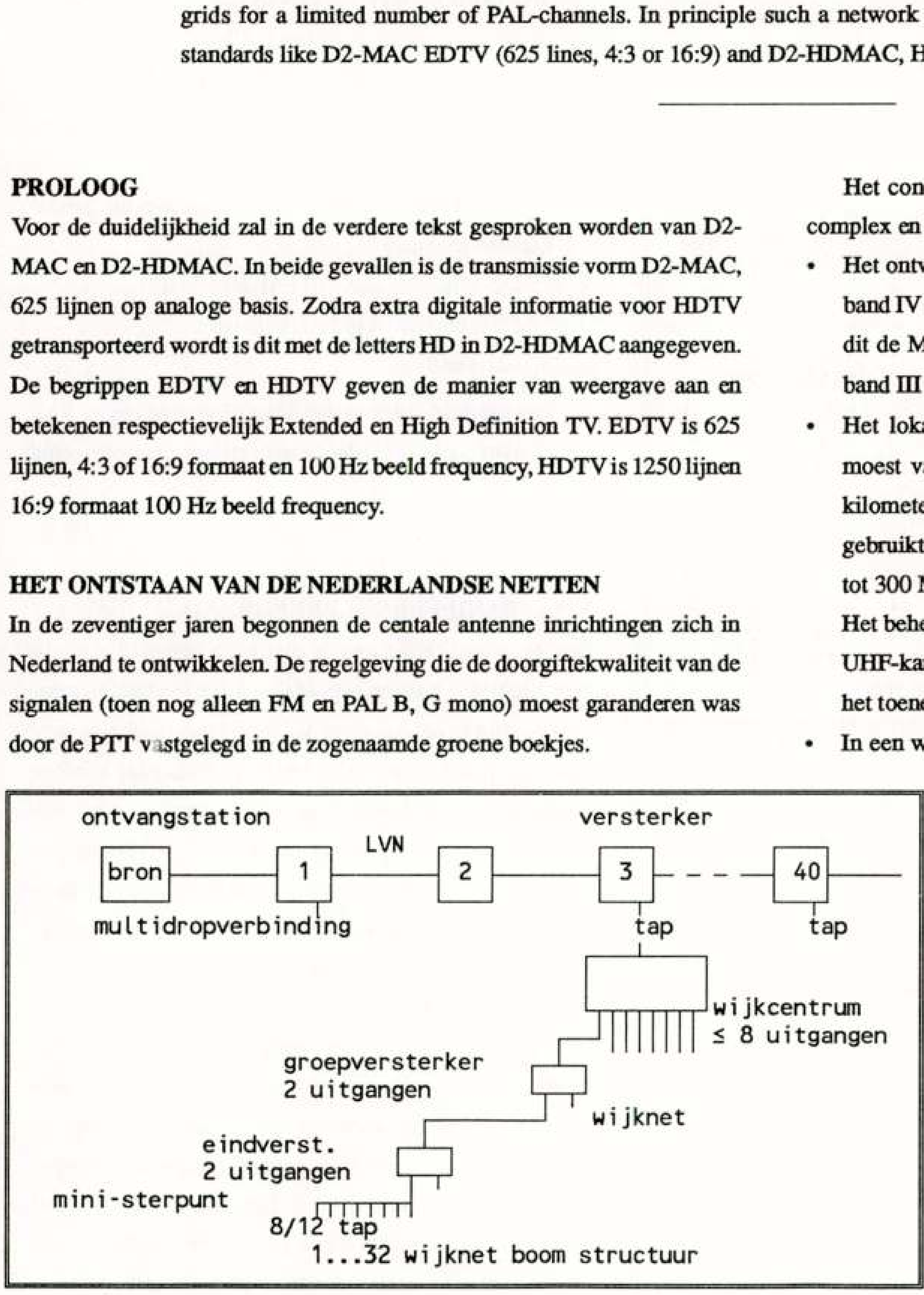
In contrast with other countries in the Netherlands not only VHF but also the UHF bands IV and V are distributed to the home outlets. To realize this in the local areas reconversion centers have been placed which convert VHF channels to UHF channels. In those local networks the channels in UHF are distributed in a non equi distance frequency grid to have as less interference due to intermodulation as possible. For this reason those networks operate with calculated frequency grids for a limited number of PAL-channels. In principle such a network is not simply suited for other transmission standards like D2-MAC EDTV (625 lines, 4:3 or 16:9) and D2-HDMAC, HDTV (1250 lines, 16:9).

PROLOOG

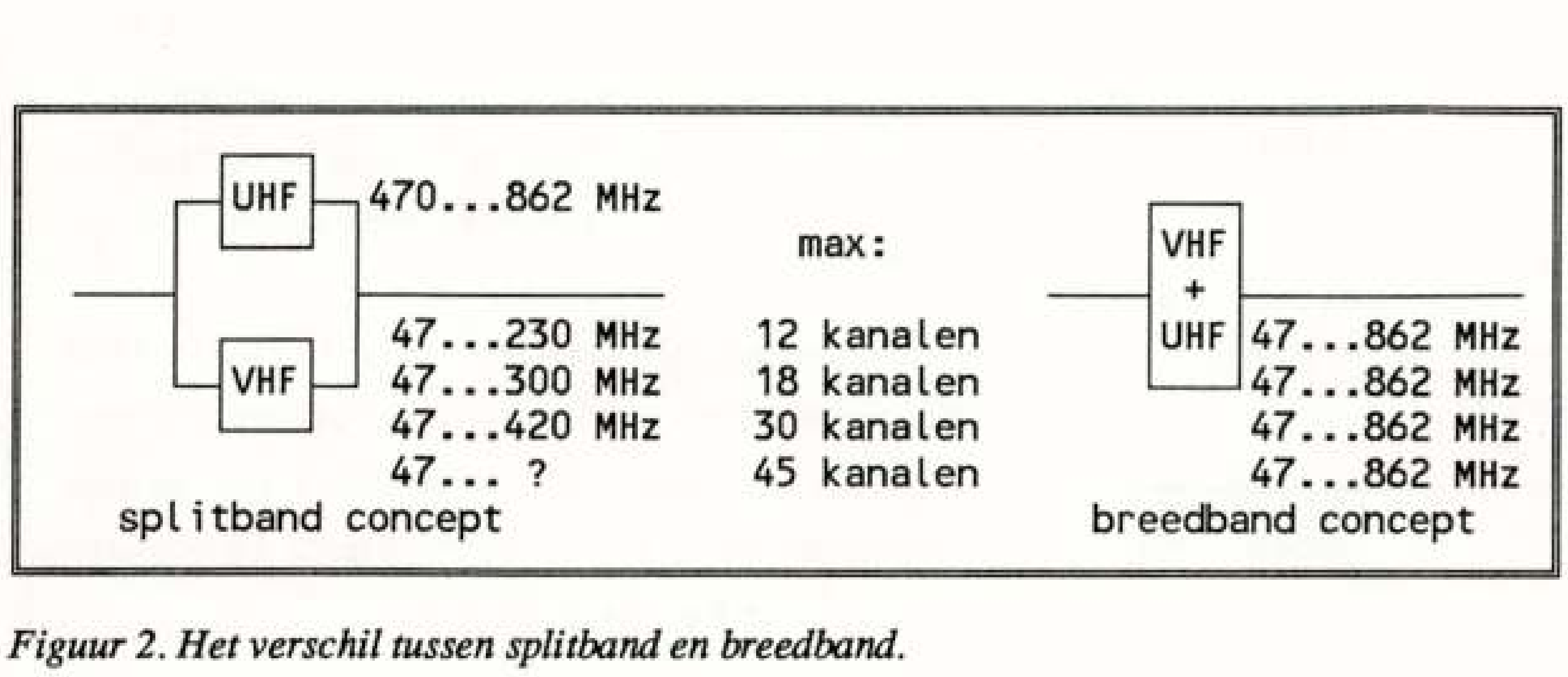
Voor de duidelijkheid zal in de verdere tekst gesproken worden van D2-MAC en D2-HDMAC. In beide gevallen is de transmissie vorm D2-MAC, 625 lijnen op analoge basis. Zodra extra digitale informatie voor HDTV getransporteerd wordt is dit met de letters HD in D2-HDMAC aangegeven. De begrippen EDTV en HDTV geven de manier van weergave aan en betekenen respectievelijk Extended en High Definition TV. EDTV is 625 lijnen, 4:3 of 16:9 formaat en 100 Hz beeld frequency, HDTV is 1250 lijnen 16:9 formaat 100 Hz beeld frequency.

HET ONTSTAAN VAN DE NEDERLANDSE NETTEN

In de zeventiger jaren begonnen de centale antenne inrichtingen zich in Nederland te ontwikkelen. De regelgeving die de doorgiftekwaliteit van de signalen (toen nog alleen FM en PAL B, G mono) moest garanderen was door de PTT vastgelegd in de zogenaamde groene boekjes.



Figuur 1. De opbouw van het Nederlandse kabelnet.



Figuur 2. Het verschil tussen splitband en breedband.

Het concept (zoals weergegeven in figuur 1) was even doordacht als complex en had in het kort de volgende kenmerken:

- Het ontvangstation ontving alle signalen en zette de UHF-kanalen (uit band IV en V) om naar de lege ruimten in de VHF-band. In praktijk was dit de M-band (7 kanalen, 114 . . . 169 MHz) tussen band II (FM) en band III (174 . . . 230 MHz) en later de B-band (boven de 230 MHz).
- Het lokale verdeelnet (LVN), ook wel hoofdnet of trunk genaamd, moest vanaf het ontvangstation de diverse wijken op vaak meerdere kilometers afstand, van deze VHF signalen voorzien. De in deze LVN's gebruikte versterkers liepen in eerste instantie door tot 230 MHz later tot 300 MHz.

  Het beheer was over het algemeen in handen van de PTT. De reden dat UHF-kanalen naar lagere VHF-frequenties werden geconverteerd was het toenemende verlies dat een kabel had bij hogere frequenties.
- In een wijk werd van een LVN-versterker signaal afgetapt en aan een wijkcentrum doorgegeven. In deze wijkcentra werden de geconverteerde signalen weer naar de UHF-banden terug geconverteerd omdat het niet was toegestaan in de M-band signalen aan abonnees aan te bieden.
- Vaak waren de achterliggende wijknetten oude gemeenschappelijke antenne inrichtingen (GAI) waarbij in eerste instantie de gemeenschappelijke antenne werd vervangen door een wijkcentrum.
- Het wijknet kon in breedband- of in splitbandtechniek uitgevoerd zijn.

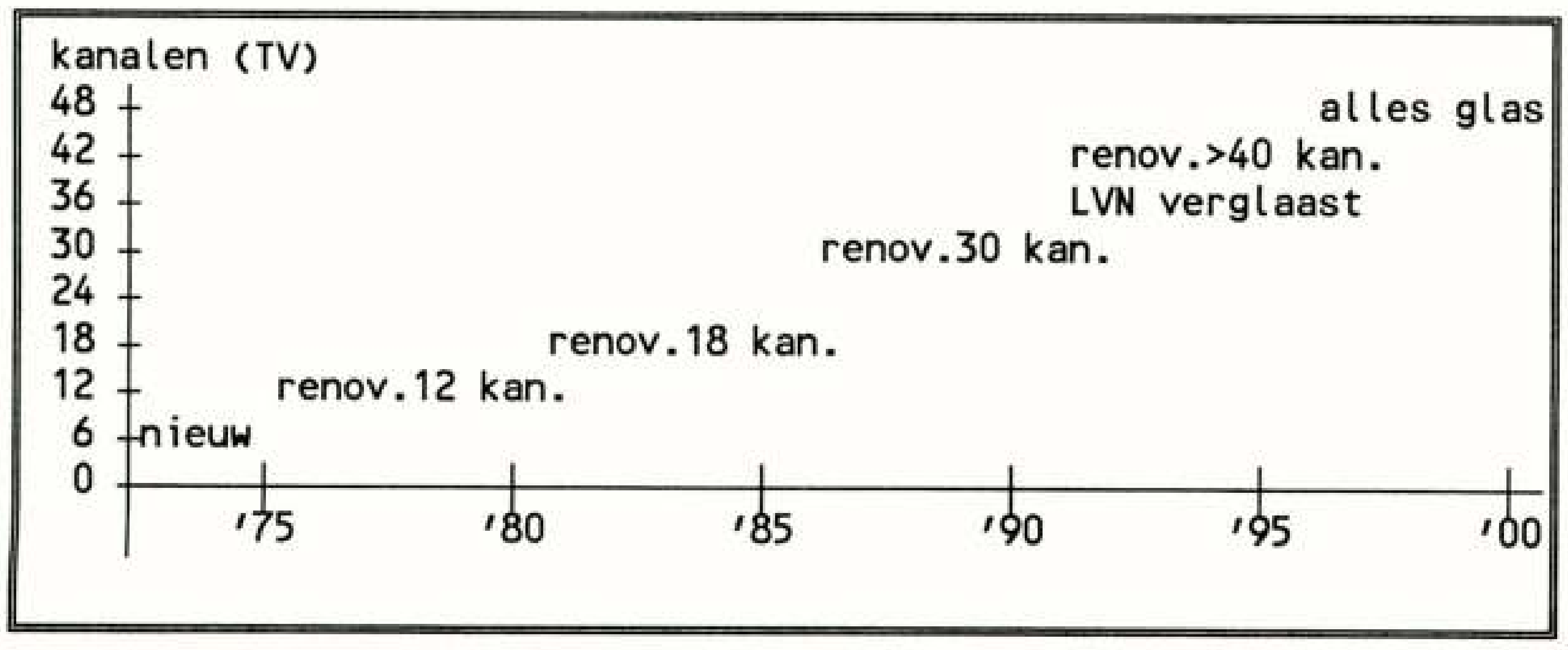
In figuur 2 is schematisch weergegeven wat het verschil tussen deze technieken.

HUIDIGE MOGELIJKHEDEN EN TREND BINNEN DE KABELNETTEN

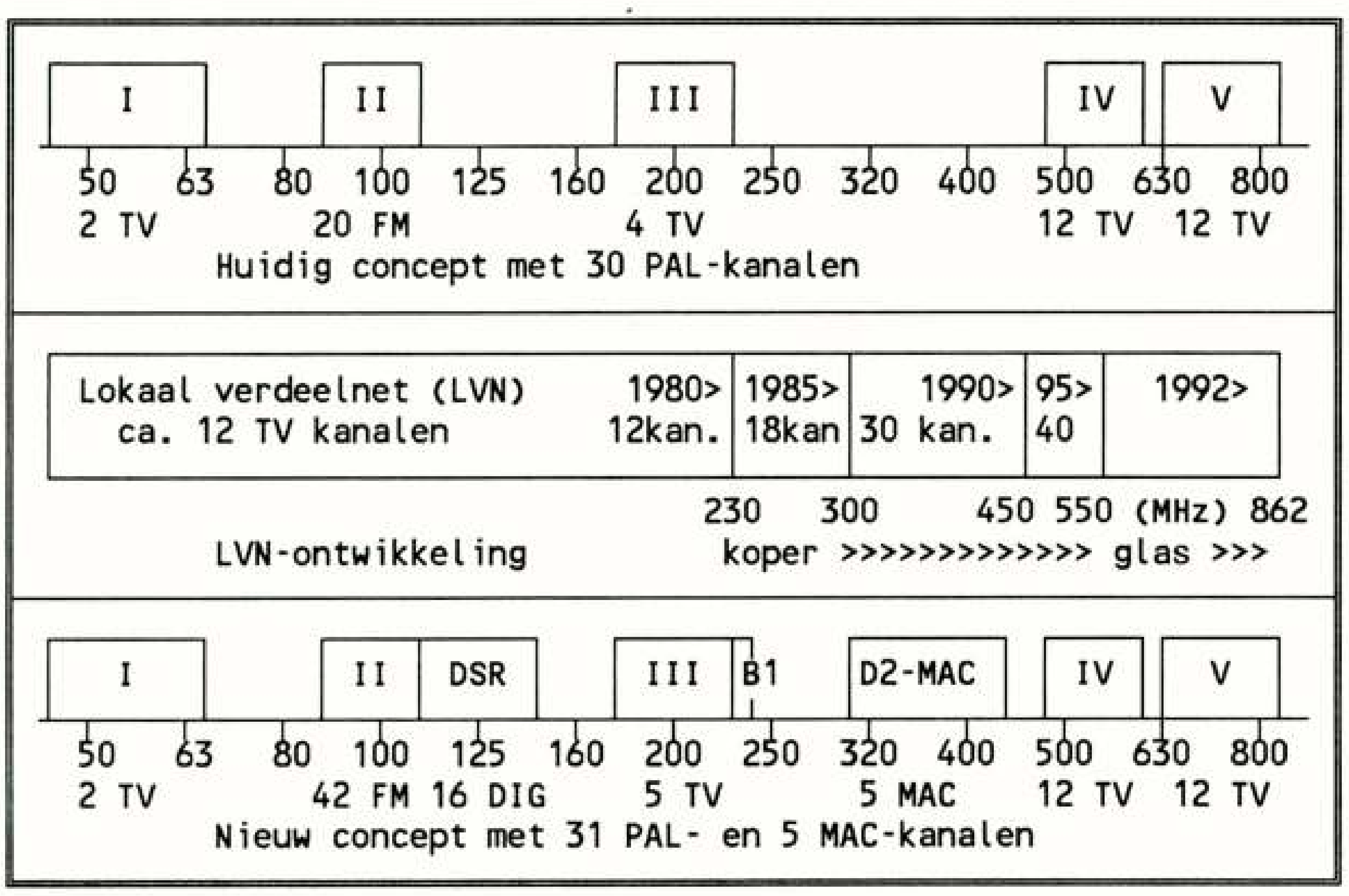
Momenteel kunnen in moderne netten ruim 30 PAL-kanalen doorgegeven worden, waarbij voldaan wordt aan eerdergenoemde PTT-richtlijnen, vanwege de privatisering van de PTT nu bekend als HDTP-richtlijnen. Gemiddeld worden in deze netten ca. 22 kanalen doorgegeven. Deze netten lijken derhalve ruim gedimensioneerd.

Figuur 3 laat echter zien het aantal door te geven kanalen ook in de toekomst zal blijven uitbreiden en wel om de volgende redenen:

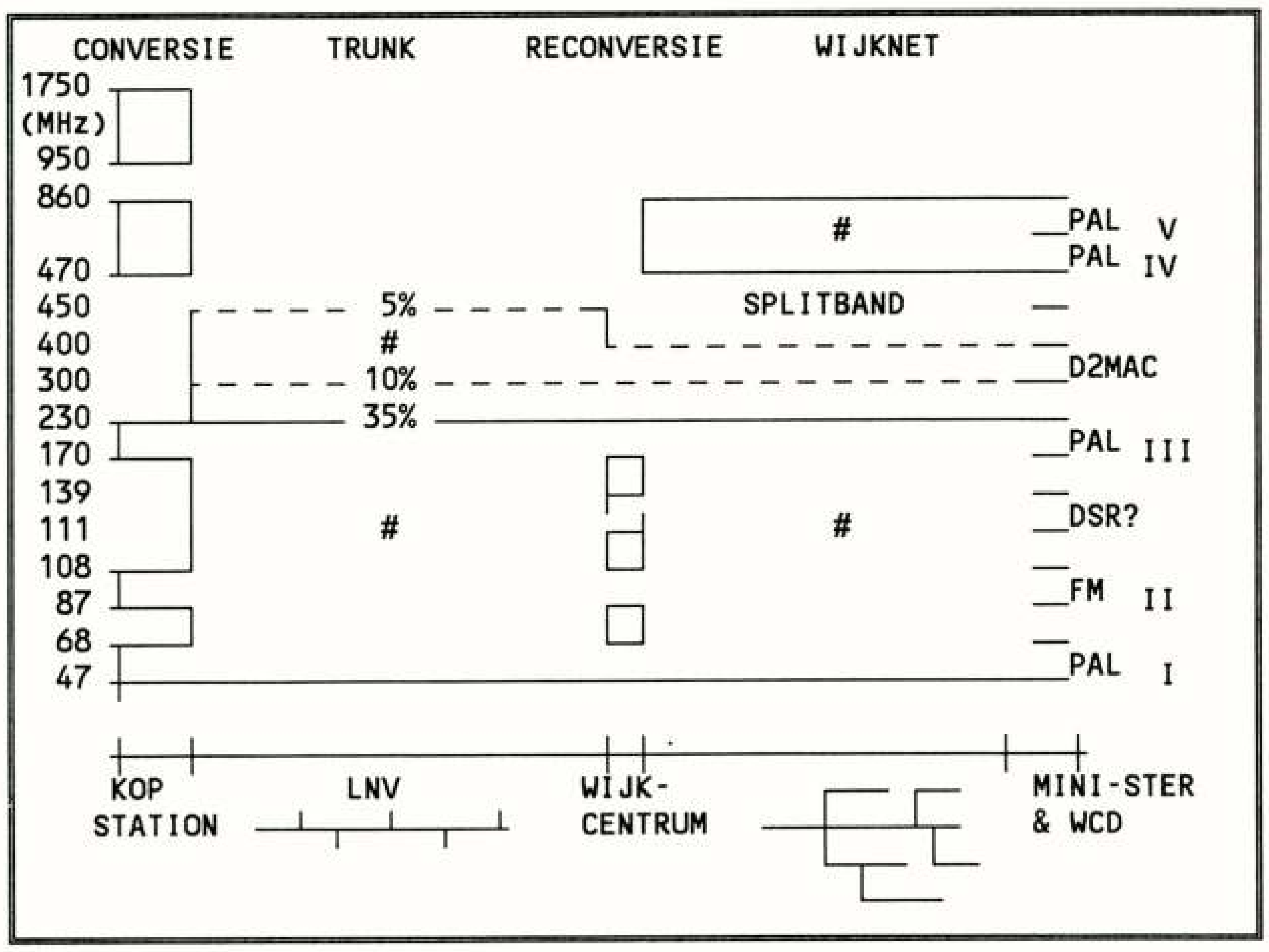
- Meer thematische kanalen (RTL komt in oktober 1991



Figuur 3. Netcapaciteit als functie van de tijd.



Figuur 4. De kanaal allocatie in het Nederlandse kabelnet.



Figuur 5. Doorgifte gebieden begin 1991 (aangegeven met #) bij splitbandnet (50% van de Nederlandse netten).

via de Astra 1B met een nieuw nieuws en een nieuw film kanaal).

- Meer lokale kanalen (kabelkrant, lokale omroep etc.).
- Vierde net in Nederland in D2-MAC met programma's van de drie andere Nederlandse netten.
- Duitse programma's in D2-MAC.
- Op lange termijn interactieve video kanalen.
- Dubbele doorgifte van programma's zolang de overgang van PAL naar D2-MAC zich aan het voltrekken is.
- De invoering van digitale satelliet radio (DSR) zal zich in het net manifisteren als een schijnbare kanaaluitbreiding. Twee geplande DSR-pakket kanalen nemen de ruimte in van vier PAL-kanalen.

Voor 1995 kan men de verwachting uitspreken dat een net de volgende signalen moet transporteren:

- 25 PAL-kanalen (waaronder informatie en themakanalen etcetera).
- 5 D2-MAC kanalen (10 PAL kanalen).
- 2 DSR pakketten (4 PAL kanalen).
- 42 FM-kanalen.

Het zal duidelijk zijn dat een doelstelling om 45 PAL kanalen (of equivalent) door een net te voeren niet vreemd is.

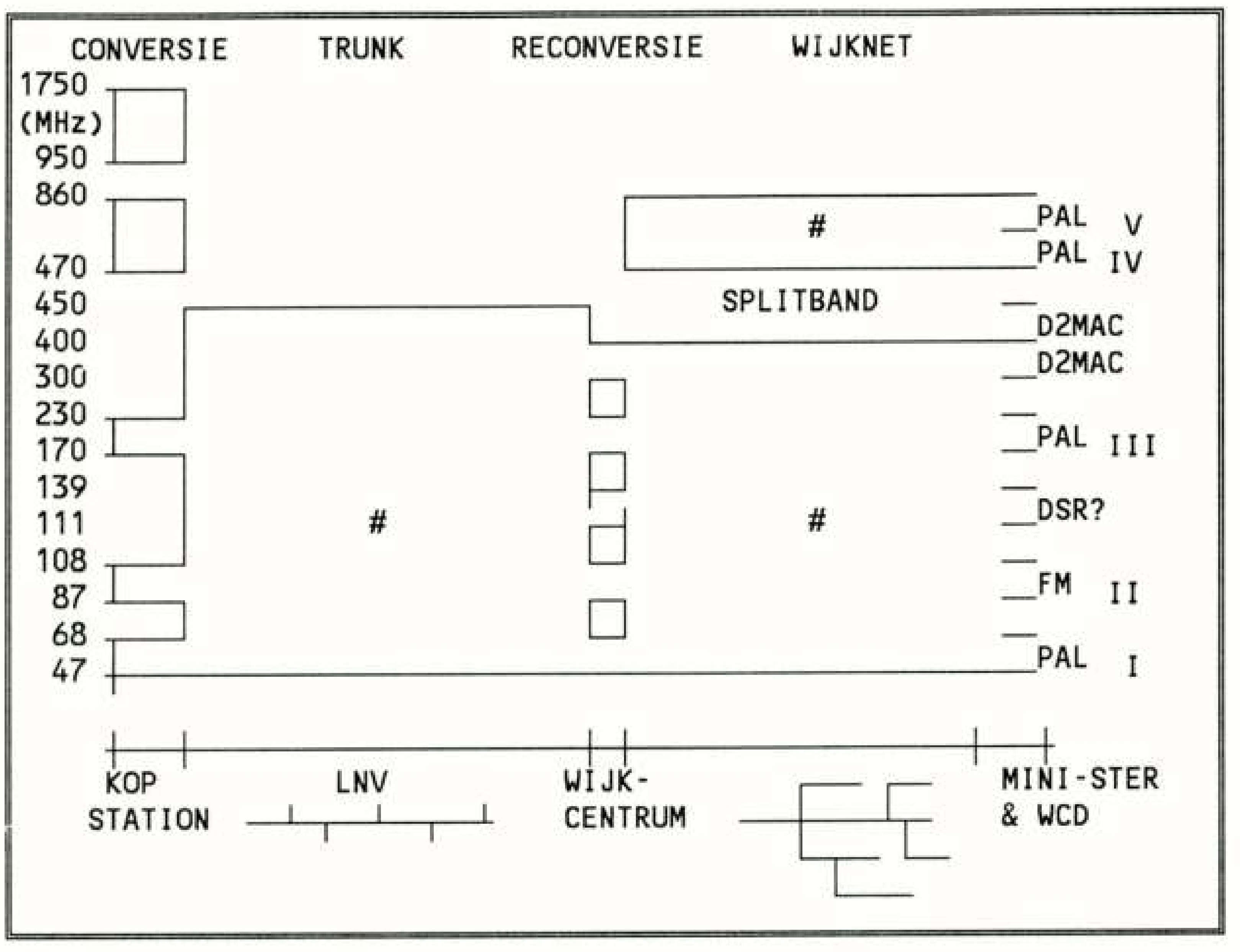
SPLITBAND VERSUS BREEDBAND

Om de ontwikkeling van de doorgiftecapaciteit goed op haar merites te kunnen beoordelen moet men de frequentie allocatie in het kabelnet nader onder de loupe nemen. Het valt op (zie figuur 4) dat het LVN zolang het in koper wordt uitgevoerd altijd een belemmerende factor zal blijven qua kanaaldoorgifte in numerieke zin. Bovendien moet het LVN minimaal tot 450 MHz doorgeven om geen belemmering te vormen voor de introductie van de hyperband (300 . . . 450 MHz) voor D2-MAC.

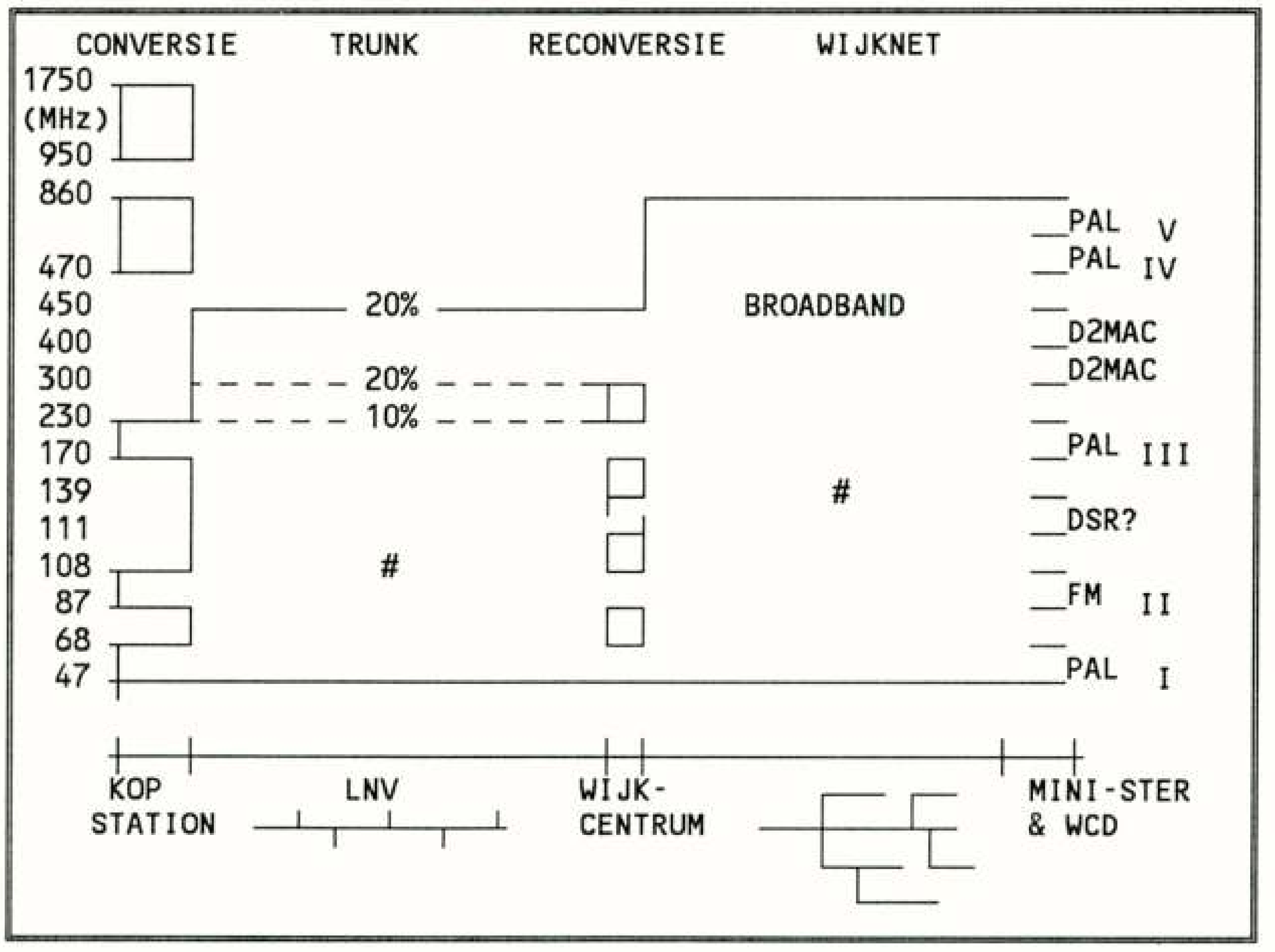
Het splitband concept komt echt in de problemen als conform de europese norm van CENELEC, D2-MAC alleen in de hyperband mag worden doorgegeven. Deze band valt namelijk precies in het gat dat zich tussen de twee doorge- geven banden bevindt. Dit gat dat kenmerkend is voor het begrip splitband kan niet gedicht worden zonder het hele concept om te gooien. Een exploitant zal niet snel hiertoe overgaan vanwege de hoge kosten die hiermee gemoeid zijn. Het in frequentie versmallen van het gat lijkt vaak aantrekkelijker. Dit kan echter maar een deel van de doorgifte van hyperband mogelijk maken.

Om de ontwikkelingen in de twee concepten, splitband en breedband, duidelijk in beeld te brengen zijn in de figuren 5 . . . 8 deze ontwikkelingen nog eens uitgebeeld.

Splitband zal zich ontwikkelen naar een 450 MHz LVN concept en een splitband wijknet met een verkleind gat in de hyperband. Zoals figuur 5 laat zien is deze ontwikkeling pas voor ca. 5% gerealiseerd. De doelstelling wordt weergegeven in figuur 6.



Figuur 6. Doorgifte gebieden huidig renovatiedoelstelling (aangegeven met #) bij splitbandnet.



Figuur 7. Doorgifte gebieden begin 1991 (aangegeven met #) bij breedbandnet (resterende 50% van de netten).

Breedband ontwikkelt zich sneller naar het 450 MHz concept. Figuur 7 laat zien dat reeds 20% deze doelstelling heeft bereikt.

Figuur 8 laat niet alleen deze doelstelling zien, het concept is ook overzichtelijker, transparanter en dus beter geschikt voor innovatieve ontwikkelingen zoals D2-MAC-doorgifte in de hyperband en DSR-doorgifte.

DE TOEKOMST

Figuur 9 geeft de toekomstige filosofie aan, te weten een transparant net zonder conversies waarbij de trunk van glasvezel is. Deze verglazing lijkt onontkoombaar. Niet alleen door de invoering van D2-HDMAC maar ook door de experimenten die in heel Europa plaats vinden op het gebied van fiber-to-the-curb (FTTC, het laatste stuk van het net is nog van koper) en fiber-to-the-home (FTTH, alles glasvezel). Men doet momenteel veel ervaring op met deze technieken en de resultaten lijken vooralsnog zeer gunstig. Bovendien begint men lanzamerhand doordrongen te raken van het feit dat men de uiterste mogelijkheden van coax kabel bereikt heeft.

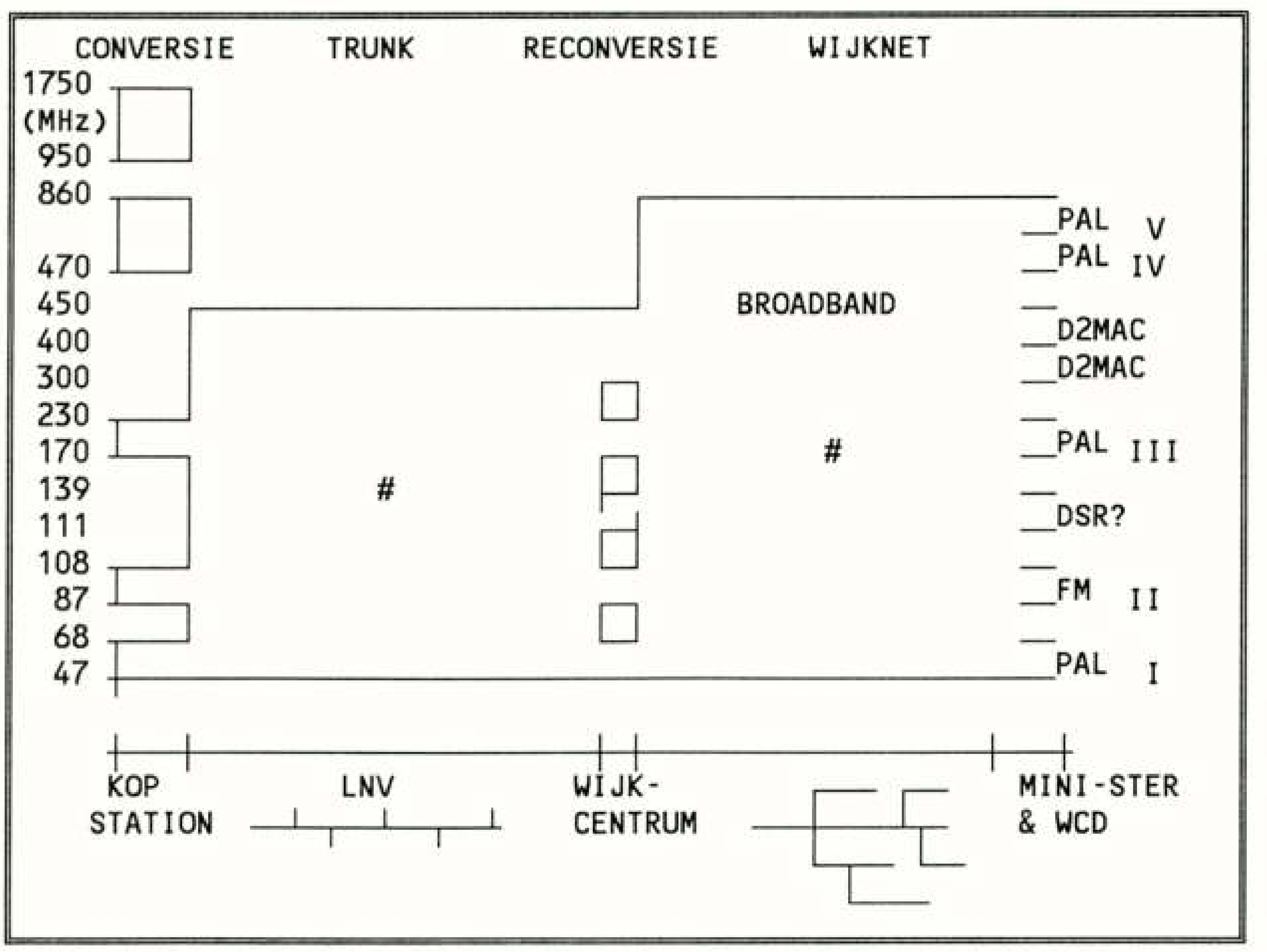
SIGNAAL-RUIS ASPECTEN BIJ DOORGIFTE

Momenteel ziet het er naar uit dat een kabelnet gemakkelijk een D2-MAC kanaal kan doorgeven met behoud van kwaliteit (afgezien van de boven omschreven capaciteits en allocatie problematiek in het net), maar dat de conventionele trunk moeite zal hebben om een D2-HDMAC (MAC + HDTV informatie) met behoudt van kwaliteit door te geven. Over D2-HDMAC zijn echter nog onvoldoende gegevens beschikbaar om de problematiek en de oplossingen ervoor exact aan te geven. Figuur 10 laat een vergelijking zien tussen PAL, D2-MAC en D2-HDMAC met betrekking tot ruis.

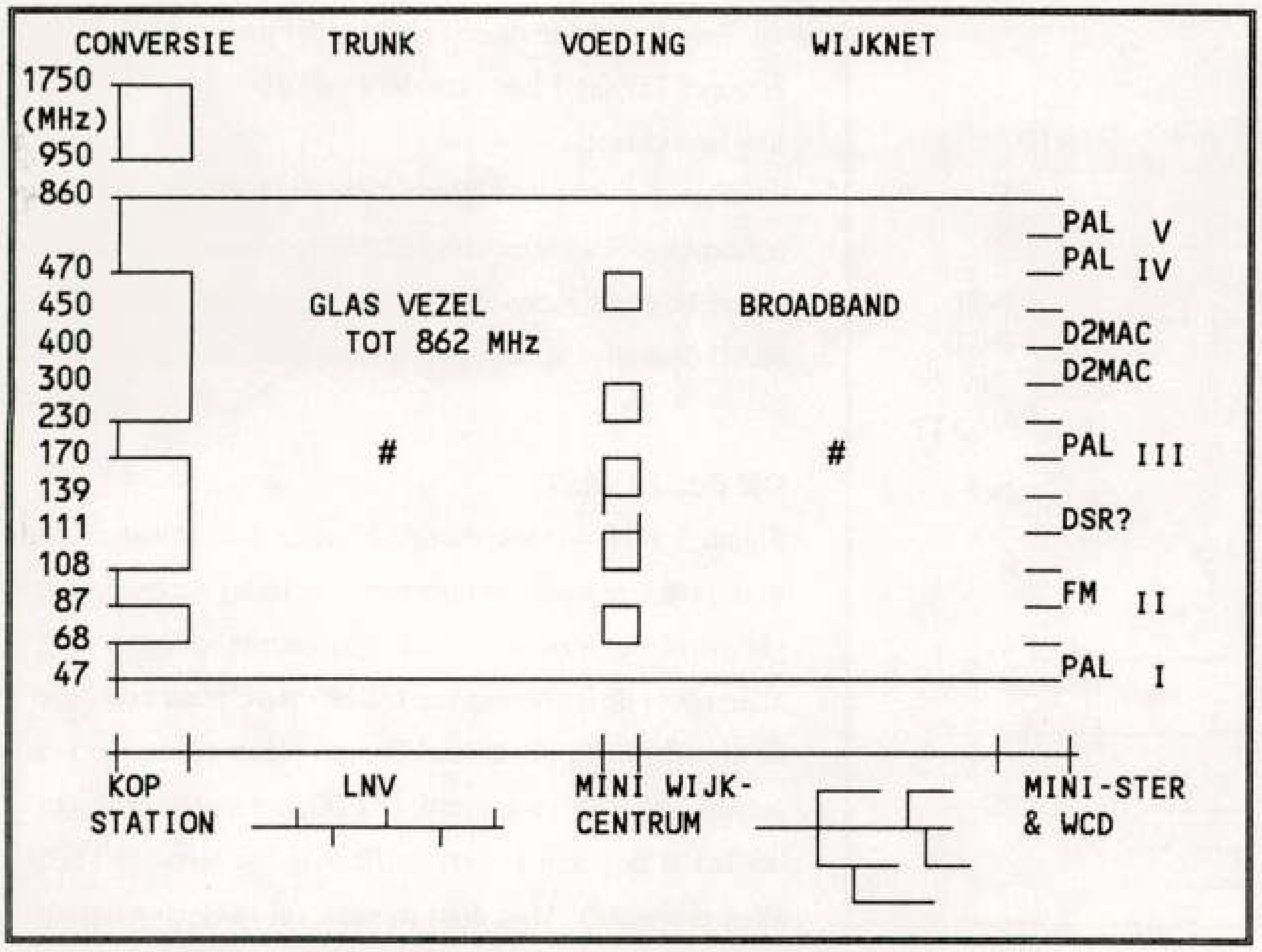
Dit overzicht is gebaseerd op een aantal uitgangspunten zoals gewenste beeldkwaliteit (in een gestandaardiseerde schaal uitgezet) en kijkafstand enerzijds en de neteisen (momenteel van HDTP) anderzijds.

Om vergelijking tussen de systemen mogelijk te maken zijn de carrier-to-noise (CNR) waarden omgerekend naar een bandbreedte van 5 MHz. Met een a zijn de CNR-waarden van de ontvanginstallatie aangegeven. De eisen die aan de CAI gesteld worden zijn onder b weergegeven. Voor PAL zijn de HDTP-voorschriften gehanteerd. Voor D2-MAC zijn deze voorschriften ook gehanteerd bij gebrek aan iets anders. In de toekomst kunnen de HDTP-voorschriften op dit punt zonder noemenswaardige problemen worden overgenomen voor D2-MAC.

Voor D2-HDMAC is een rekenvoorbeeld met een glasvezel systeem in de trunk gemaakt om een indruk te geven van de mogelijkheden. Hier wordt aangegeven dat de doorgifte technisch gezien zonder problemen kan.



Figuur 8. Doorgifte gebieden huidige renovatie doelstelling (aangegeven met #) bij breedbandnet.



Figuur 9. Doorgifte gebieden innovatie doelstelling voor de jaren 1990 (aangegeven met #) bij split- en breedbandnet.

Calculatie in dB	PAL 4:3		D2-MAC 16:9		D2-HDMAC 16:9	
gebruikte band [MHz]		47...862		170...450		300...450
Ruis bandbreedte [MHz]		4,75		9,15		11,15
Huis specs						
min. signaal niveau [dBμV]	*	63,5		63,5		63,5
Ruis=10logkTBR|300K [dBμV]		1,7		4,5		5,4
Max. ruisgetal van ontvanger [dB]		9		8		9
		±		±		±
CNR ontvanger in [dB]		52,8		51,0		49,1
idem CNR in 5 MHz [dB]	a	52,6	a	53,6	a	52,6
CNR CAI gesplitst in:						
kopstation CAI	HDTP	50		50		52
LVN	HDTP	46		46	glas	53
wijkcentrum/net	HDTP	50		50		52
		dB		dB		dB
CNR CAI eis (5MHz) [dB]	b	43,5	b	43,5	b	47,6
Totaal CNR in 5MHz						
Beeld kwaliteit (CCIR500)	4		4		4,5	
Kijk afstand aanbevolen	6H		6H		3H	
Gewogen SNR CAI+huis [dB]		45		45		47
RF CNR = Gew.SNR -....		2,8		6,0		0,6
		-		-		-
CNR totaal eis 5MHz [dB]		42,2		39,0		46,4
CNR wens in ....MHz [dB]					11	43
idem calc.(5MHz)	a&b	43,0	a&b	43,0	a&b	46,5

* 60 dBμV voor VHF, in de praktijk meestal iets hoger, zodat 63 dBμV kan worden aangehouden. Ook het ruisgetal ligt gewoonlijk lager.

Figuur 10. Vergelijking van CNR voor PAL en de MAC-family in de CAI.

INTERMODULATIE EN D2-MAC

Intussen zijn voor de nederlandse situatie met betrekking tot intermodulatie (IMA2 en IMA3) ook de eerste protectiekrommes gemeten. Deze krommes zijn belangrijk voor het doen van berekeningen voor netprojecties. Ook de bepaling van de frequentie allocatie (frequentieraster) is hiervan afhankelijk. Omdat D2-MAC op basis van tijdmultiplexing werkt (PAL werkt met frequentiemultiplexing ofwel met hulpdraaggolven voor kleur en geluid) is de protectiekromme vlak en als functie van de frequentie monotoon aflopend. Over het algemeen is de protectiekromme van MAC gunstiger dan die van PAL. Voor de toekomstige netberekeningen zullen deze krommes in de netberekeningsprogramma's moeten worden geïmplementeerd. Alhoewel de krommes voor D2-HDMAC minder gunstig zijn dan die van D2-MAC geldt hier voor vorm en implementatie in de programma's hetzelfde.

Resumerend wordt het voor de moderne kabelexploitant en producten systeemleverancier meer een kwestie van wennen aan het nieuwe fenomeen dan het oplossen van een probleem. Het overgezonden HDTV-plaatje is de gewennings-problematiek echter meer dan waard.

Voordracht gehouden tijdens de 385e Werkvergadering.

UIT HET NERG

LEDENMUTATIES

Voorgestelde leden

Ir. A.N. Aulia, Arthur van Schendellaan 55, 2624 CR DELFT.
Ir. E.A. Kuijpers, Rode Kruislaan 1515, 1111 XE DIEMEN.
Drs. W. Pelt, Pisuissestraat 431, 2553 BN DEN HAAG.
Ir. J.C. van der Plaats, Reigerskamp 415, 3607 HZ MAARSSEN.
Ir. D.A. Schinkel, S. Streuvelsplantsoen 25, 2182 ZG HILLEGOM.
Ing. H. Speelman, Burg. Meyboomstraat 24, 2231 LD RIJNSBURG.
Ir. P.K. Tilburgs, Oude Pyramide 65,
3962 HK WIJK BIJ DUURSTEDE.

Nieuwe leden

Ir. J.C. Buisman, Vechtstraat 58, 1823 VB ALKMAAR.
J.H.P. Diederen, Vestdijk 37-K, 5611 CA EINDHOVEN.
Ir. A.W. Doorduin, Oosterend 4 A, 1251 HN LAREN.
J.C. van Essen, Teylingerlaan 45, 2171 CC SASSENHEIM.
Ir. R. Hekmat, Korvezeestraat 266, 2628 DM DELFT.
Mw. MA J.M. Scarr, Herenwaard 23, 2716 XR ZOETERMEER.
Ing. B. Schipper, Marga Klompéstraat 8,
2401 ME ALPHEN A/D RIJN.
Ir. P.C.W. Sommen, p/a Technische Universiteit Eindhoven,
Faculteit Elektrotechniek, Gebouw EH 9.07, Postbus 513,
5600 MB EINDHOVEN.
Ir. C.P. Spruijt, Schenkkade 231 A, 2595 AV DEN HAAG.

Nieuwe adressen van leden

Prof. dr. ir. W.M.G. van Bokhoven, De Rijt 41,
5704 AK HELMOND.
W. Boterman, Van Kleffenslaan 49, 4334 HB MIDDELBURG.
Ir. J. Dijk, Nieuwveld 108, 5702 HW HELMOND.
R.A. Hogendoorn, Punterdiep 13, 8032 TR ZWOLLE.
Ing. J.M.L. Hruschka, Bodegemstraat 152, B-1700 DILBEEK, België.
D.C.J. Poortvliet, Vlaskamp 236, 2592 AG 's-GRAVENHAGE.
K.J. Rijkse, Ambachtspolderpad 11, 2807 KV GOUDA.
R.L. Roling, Oostdorperweg 210A, 2241 BG WASSENAAR.
Ir. P. de Waard, Van Bemmellaan 76, 2681 CX MONSTER.
Ir. N.B.J. Weyland, Willem Frederikstrjitte 6,
9288 CG KOOTSTERTILLE.

Conferentie-aankondigingen

11e International Conference on Pattern Recognition (ICPR), 3/8 tot 3/9/1992 te Den Haag. Call for papers 31/10/1991. Contact adres: 11e ICPR secretariat TUD faculteit Elektrotechniek, P.O. Box 5031, 2600 GA Delft, tel. 015-786052; fax 015-622000.

Tijdschrift van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap

Inhoud

deel 56 – nr. 2 – 1991

Druk: de Witte, Eindhoven.